



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUPERVISIÓN, CONTROL Y
ADQUISICIÓN DE DATOS EN UN LABORATORIO DE
LARVAS DE CAMARÓN”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

ROBERTO CARLOS FRANCO FIGUAVE

JONATHAN XAVIER MÉNDEZ ZAMBRANO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2018

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme seguir con vida, en esta lucha por alcanzar mis objetivos y ser una persona de bien. A mis padres, por total y constante apoyo. A mis profesores, por el conocimiento adquirido en estos años gracias a sus enseñanzas. Al Ing. Ricardo Albán, quien me inculcó el valor y amor por la docencia. A mi tutor, el MSc. Cesar Yépez quien ha sido un gran maestro y guía. Al Sr. Andrés Bailón por ser partícipe y consejero del proyecto. Al Sr. Manuel Morales, entusiasta tecnológico, por permitir y colaborar con su implementación en las instalaciones del laboratorio.

Roberto Carlos Franco Piguave

A mis padres y hermana por el apoyo incondicional durante toda mi etapa académica. A mis profesores por todo el conocimiento impartido en sus aulas.

A mi tutor, el MSc. Cesar Yépez quien me brindo su conocimiento como guía en este proyecto. Y al Sr. Manuel Morales por acoger el proyecto y su implementación en su empresa.

Jonathan Xavier Méndez Zambrano

DEDICATORIA

A mis padres, Sr. Juan Franco y Sra. Laura Piguave, por ser mis mayores símbolos de admiración y quienes mi inspiran día a día. A mis hermanas Cinthia, Lindsay y Haydee, por quienes me esfuerzo en ser su ejemplo y darles mi apoyo constante siempre que lo necesiten.

A Isabelita (+), mi adorada abuelita, quien desde el cielo me brinda una dulce luz que me motiva.

A Michelle Espinoza, excelente, especial y hermosa chica quien ha sido mi adorada compañera de vida a lo largo de este hermoso trayecto, brindado su cariño y apoyo en las mejores y más difíciles situaciones, siendo mi complemento ideal.

A Edith Endara, quien ha sido mi consejera y la mejor amiga que pude tener, compartiendo conmigo momentos increíbles e inolvidables.

Finalmente, a mis demás amigos y familiares, quienes de alguna u otra forma han sido partícipes en mi vida, con sus experiencias y emociones.

Roberto Carlos Franco Piguave

Dedicado expresamente a mis padres,
hermana y a la memoria de mi abuela,
las personas más importantes de mi
vida.

Jonathan Xavier Méndez Zambrano

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la Escuela Superior Politécnica del Litoral, realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Roberto Carlos
Franco Piguave



Jonathan Xavier
Méndez Zambrano

RESUMEN

El presente proyecto muestra un sistema de monitoreo con acceso a internet en tiempo real de los parámetros fundamentales en larvicultura del camarón. Estos parámetros son: temperatura, nivel de oxígeno disuelto y pH en los tanques de acuerdo a la etapa larvaria. Además, se realiza un control sobre el proceso del flujo de agua que se administra en un tanque, ya que esto depende mantener un correcto balance en la renovación y calidad de agua del mismo. Así, se busca mejorar la eficiencia en los procesos que involucran a las variables antes mencionadas y garantizar un producto de calidad, en este caso, la larva de camarón. Para lograr este objetivo, la comunicación entre dispositivos para la recolección de información debe ser inalámbrica, debido a que el ambiente en un laboratorio de larvas no es el adecuado para implementar una red cableada.

La recolección de los parámetros físicos en el tanque de larvas se efectuó con una serie de sensores adjuntos a la tarjeta de desarrollo Arduino Uno. El monitoreo se realiza mediante una pantalla LCD en sitio, y de manera remota con el servidor web ubidots mediante algún dispositivo con acceso a internet. El sistema de control, asociado a la temperatura, consta de un relé con optoacoplador, que aísla el sistema de control del sistema de fuerza, y una electroválvula, quien permite el flujo de agua hacia el tanque. El sistema de comunicación cuenta con 2 módulos Xbee, quienes de forma inalámbrica con tecnología Zigbee y en modo de operación transparente, realizan el intercambio de datos entre la RTU y la MTU.

Mediante la implementación de este sistema, se obtuvo como resultado una mejora en la supervisión y control del proceso de larvicultura. Cabe destacar la importancia de obtener estos datos en internet para el cliente, puesto que conlleva un mejor registro en el desarrollo del proceso de larvicultura del camarón. Finalmente, se enfatiza que Internet es actualmente la herramienta para la obtención de información en tiempo real, y gracias a esto, se pueden mostrar los datos mediante aplicaciones en cualquier dispositivo.

Palabras Clave: Internet, Monitoreo, Control, Adquisición, Arduino, Zigbee, Camarón.

ABSTRACT

This project shows a monitoring system with real time internet access of the fundamental parameters in shrimp larviculture. These parameters are: temperature, dissolved oxygen level and pH in the tanks according to the larval stage. In addition, a control is carried out on the process of the water flow that is administered in a tank, since this depends on maintaining a correct balance in the renewal and water quality of the same. Thus, it seeks to improve the efficiency of the processes that involve the aforementioned variables and guarantee a quality product, in this case, the shrimp larva. To achieve this objective, the communication between devices for the collection of information must be wireless, because the environment in a larval laboratory is not adequate to implement a wired network.

The collection of the physical parameters in the larval tank was carried out with a series of sensors attached to the Arduino Uno development card. The monitoring is done through an LCD screen on site, and remotely with the ubidots web server through a device with internet access. The control system, associated with the temperature, consists of a relay with optocoupler, which isolates the control system of the force system, and an electrovalve, which allows the flow of water to the tank. The communication system has 2 Xbee modules, who wirelessly with Zigbee technology and in transparent operation mode, perform the data exchange between the RTU and the MTU.

Through the implementation of this system, an improvement in the supervision and control of the larviculture process was obtained. It is important to highlight the importance of obtaining this data on the internet for the client that entails a better record in the development of the shrimp larviculture process. Finally, it is emphasized that the Internet is currently the tool for obtaining information in real time, and thanks to this, data can be displayed through applications on any device.

Keywords: Internet, Supervisory, Control, Acquisition, Arduino, Zigbee, Shrimp.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS.....	V
SIMBOLOGÍA.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema.....	2
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos	3
1.4 Marco Teórico	4
1.4.1 Parámetros físicos relevantes en la larvicultura del camarón.....	4
1.4.2 Laboratorio de larvas	5
1.4.3 Tecnología Zigbee	6
1.4.4 Tecnología SCADA.....	8
CAPITULO 2	10
2. Sistema de adquisición, monitoreo y control	10
2.1 Análisis y configuración de la red inalámbrica.....	11
2.2 Selección de Equipos.....	13
2.2.1 Componentes del Sistema de Adquisición, Control y Transmisión.....	15
2.2.2 Componentes del Sistema de Monitoreo y Recepción	22

2.3	Adquisición e Intercambio de datos	24
2.4	Monitoreo y Control del Sistema	31
2.5	Instalación y configuración del sistema	32
CAPÍTULO 3		36
3.	Análisis del Sistema en Ejecución	36
3.1	Análisis de RSSI en la comunicación inalámbrica.....	36
3.2	Comparativa frente a equipos especializados.....	38
3.3	Análisis de costos del sistema	40
CAPITULO 4		43
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	43
BIBLIOGRAFÍA		45
ANEXOS		47

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
HMI	Human-Machine Interface
ISM	Industrial, Scientific and Medical
WAN	Wide Area Network
LAN	Local Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WiFi	Wireless Fidelity
AP	Access Point
DNS	Domain Name System
IP	Internet Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
NAT	Network Address Translate
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
MAC	Media Access Control
IDE	Integrated Development Environment
XCTU	XBee Configuration and Test Utility

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
mg/L	Miligramo por Litro
OD	Oxígeno Disuelto
Mbps	Megabits por segundo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Topología de la tecnología Zigbee	8
Figura 2.1 Instalaciones de Larvitec.....	10
Figura 2.2 Medición manual de Temperatura, PH y Oxígeno disuelto.	10
Figura 2.3 Ubicación física de los puntos de acceso a internet.....	12
Figura 2.4 Diagrama de flujo del sistema	14
Figura 2.5 Diagrama funcional del sistema	14
Figura 2.6 Arduino Uno	15
Figura 2.7 Modulo Xbee S2C	16
Figura 2.8 Sensor de Temperatura DS18B20	17
Figura 2.9 Kit Sensor de pH	18
Figura 2.10 Kit Sensor de oxígeno disuelto DFROBOT	19
Figura 2.11 Modulo relé con optoacoplador	20
Figura 2.12 Electroválvula	21
Figura 2.13 Sistema de Adquisición, Control y Transmisión.	21
Figura 2.14 Shield Ethernet W5100	22
Figura 2.15 Software Arduino IDE	23
Figura 2.16 Software XCTU	23
Figura 2.17 Conexiones del Sistema de Monitoreo y Recepción	24
Figura 2.18 Conexión de la Sonda de Temperatura DS18B20	24
Figura 2.19 Calibración para sonda de pH	25
Figura 2.20 Calibración para tarjeta de adquisición pH.....	26
Figura 2.21 Calibración para sonda de oxígeno disuelto	27
Figura 2.22 Datos mostrados en LCD	27
Figura 2.23 Diagrama de Estados para la electroválvula	28
Figura 2.24 Función para transmisión de datos	29
Figura 2.25 Trama de datos	29
Figura 2.26 Función para recepción de datos	29
Figura 2.27 Prototipo de la RTU	30
Figura 2.28 Prototipo de la MTU	30
Figura 2.29 Visualización de los datos mediante un Smartphone	31
Figura 2.30 Monitoreo en el servidor local	32

Figura 2.31 Mediciones en Larvitec con prototipo	33
Figura 2.32 Datos de Oxígeno Disuelto en Ubidots	33
Figura 2.33 Datos de Temperatura en Ubidots	33
Figura 2.34 Datos de pH en Ubidots	34
Figura 2.35 Prototipo Final	34
Figura 2.36 Red de comunicación en malla	35
Figura 3.1 Mediciones con prototipo	38
Figura 3.2 Medición de Oxígeno y Temperatura con YSI 550A	38
Figura 3.3 Medición de pH con OKATON PC 700.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Parámetros en los tanques de larvas de camarón	6
Tabla 1.2 Comparación entre tecnologías WiFi, Bluetooth y Zigbee	7
Tabla 2.1 Parámetros en los tanques de larvas	11
Tabla 2.2 Configuración de enrutadores	12
Tabla 2.3 Resultados para calibración de pH.....	25
Tabla 2.4 Configuración Xbee para comunicación transparente	28
Tabla 3.1 Resultados para el análisis de RSSI en ambiente exterior	36
Tabla 3.2 Resultados para el análisis de RSSI en ambiente interior	37
Tabla 3.3 Resultados para el análisis de RSSI en Larvitec.....	37
Tabla 3.4 Primera comparativa para las mediciones.....	39
Tabla 3.5 Segunda comparativa en las mediciones	39
Tabla 3.6 Costos para Kit de Sensores	40
Tabla 3.7 Costos para el Sistema de Adquisición de Datos	41
Tabla 3.8 Costos para el Sistema de Monitoreo de Datos	41
Tabla 3.9 Costos para el Sistema de Control	41
Tabla 3.10 Costos para Elementos Complementarios	41
Tabla 3.11 Costos para Mantenimiento.....	42

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El camarón se ha convertido en el producto de exportación no petrolero con mayor crecimiento tanto en producción y exportación, como lo demuestran las estadísticas en el 2017, desplazando al banano que tenía una hegemonía de 40 años ostentando el primer lugar, así lo demuestran los informes del Banco Central del Ecuador [1].

Es así, que el sector camaronero busca la mejora continua para ofrecer día a día un producto de gran calidad. Para garantizar esto, un factor importante son los laboratorios de larvas, los cuales llevan a cabo los procedimientos de las etapas iniciales del camarón desde la reproducción hasta alcanzar el estado de post-larva. En entornos acuícolas, el desarrollo del camarón se ve afectado por las condiciones climáticas, la contaminación del agua, y la aparición de enfermedades por uso indiscriminado de químicos, elementos tóxicos y antibióticos [2]. Debido a estas amenazas las diferentes etapas en el proceso de producción de larvas de camarón deben ser rigurosamente monitoreados y controlados a fin de evitar que el producto final adquiera enfermedades que repercutan directamente en los niveles de producción.

Con el desarrollo de la tecnología, el sector industrial busca implementar estos avances en busca de mayores beneficios [3]. Precisamente, el monitoreo y control de los procesos en la industria, se está abriendo paso a través de redes de sensores inteligentes, siendo internet el soporte esencial para este fin, ofreciendo acceso en tiempo real y remoto a datos relevantes que influyen en la producción [4]. Para llevar a cabo este proceso de monitoreo y control se requiere de una infraestructura óptima y contar con la red de sensores que, en conjunto a sus tarjetas de adquisición, se encargan de la recolección de datos o parámetros para luego convertirlos en señales óptimas que serán procesadas y a su vez enviadas a un servidor en la internet. Por tanto, con el uso de herramientas sencillas se pueden mostrar los datos mediante una interfaz gráfica amigable en diferentes

dispositivos como celulares, tabletas y computadoras, etc. facilitando la lectura e interpretación al encargado del monitoreo en las etapas de producción. La implementación de esta clase de tecnología y sus innovaciones en la industria camaronera de Ecuador ha sido poco explotada y posee falencias [5], por lo cual con el presente proyecto, se busca dar una contribución en beneficio al desarrollo de un sector que está en auge de crecimiento.

1.1 Descripción del problema

En la actualidad, los laboratorios de larvas de camarón en Ecuador no disponen de infraestructura adecuada para mantener una conectividad de internet estable, por ende, no gozan de las múltiples posibilidades que ésta ofrece, por ejemplo, brindar una comunicación en línea entre uno o más usuarios para que puedan acceder de forma simultánea a la información, generando un ambiente favorable para el acceso a un servidor en la nube con los datos relevantes o monitorear del flujo de producción del laboratorio. Por otra parte, los parámetros del flujo de trabajo del laboratorio para la obtención del producto en sus diversas etapas de control son temperatura, salinidad del agua, nivel de oxígeno y pH, etc., se monitorean manualmente, proceso que puede conllevar a errores humanos en ciertas ocasiones y/o introducción de agentes indeseados debido a la presencia de bacterias. Además, la gran demanda de larvas creó una presión sobre los laboratorios, lo cual generó operaciones deficientes de bioseguridad causando mortalidad del 20% al 70% en los tanques de cría. Según análisis, esta tasa de mortalidad se produjo por una presencia bacteriana debido a los manejos incorrectos [6]. No obstante, la participación del ser humano es esencial en el proceso gracias al criterio que pueda brindar mediante la correcta interpretación de los datos y la posterior acción a realizar.

1.2 Justificación

El desarrollo del proyecto ofrece análisis, monitoreo y medición en tiempo real que optimizan el rendimiento, la eficiencia y al mismo tiempo establecen una ventaja competitiva con su implementación. Para lograr estos objetivos, se requiere que la infraestructura de comunicación provea de un sistema que interconecte sensores y actuadores a través de la red.

La conectividad inalámbrica se implementa para la automatización, el control, la telemetría y la interacción remota, además es una alternativa perfecta ya que la fibra óptica no se encuentra distribuida en todas partes, y los servicios de datos móviles tienen un alto costo y no brindan la calidad del servicio, confiabilidad y disponibilidad demandada en estas aplicaciones. En este particular caso, se busca implementar este tipo de sistema tecnológico en un laboratorio de larvas de camarón, el cual posee varios procedimientos como control de temperatura, bombas de aireación, filtración de agua, etc., los cuales, tendrán una mejora significativa en cada aspecto antes mencionado. Cabe destacar la importancia de obtener los parámetros usados en el flujo de trabajo del laboratorio, en cualquier lugar mediante aplicaciones intuitivas, siendo Internet, la herramienta fundamental para obtener información en línea. Así, los datos se muestran en tiempo real permitiendo tomar las acciones respectivas del caso.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema con acceso inalámbrico mediante 2 dispositivos interconectados entre sí, para optimizar el monitoreo, control y conectividad en un laboratorio de larvas de camarón.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Configurar la red de datos para mejorar la conectividad inalámbrica y el acceso a internet en toda la infraestructura del laboratorio.

- Implementar la red de sensores en conjunto con actuadores para la automatización controlada del flujo de agua en un tanque.
- Proveer un sistema de monitoreo y control para un proceso mediante una unidad terminal maestra interconectada a un servidor web.

1.4 Marco Teórico

1.4.1 Parámetros físicos relevantes en la larvicultura del camarón

El manejo adecuado de la calidad de agua en un estanque posee un papel relevante para el éxito de los procedimientos acuícolas. Cada parámetro de forma independiente puede alterar de manera directa la salud del animal. No obstante, en el ambiente dinámico y complejo de los estanques, los parámetros de calidad de agua también se influyen entre ellos. También, mantener niveles óptimos de los parámetros es fundamental, tanto para la salud como para el desarrollo de organismos de cultivo y es por ello que se recomienda supervisar y evaluar los parámetros en una base de rutina [7]. Para el presente proyecto, los parámetros a monitorear son oxígeno disuelto, pH y temperatura.

El oxígeno disuelto es uno de los más importantes parámetros en acuicultura. Mantener buenos niveles de OD en el agua es fundamental para una producción exitosa ya que tiene un predominio directo en el consumo de alimento, resistencia a padecer enfermedades y metabolismo. Un nivel sub-óptimo es muy estresante para los camarones.

La temperatura es otro de los parámetros relevantes en la calidad de agua. Puede alterar el metabolismo de los camarones y los índices de alimentación. También tiene influencia directa en los índices de respiración e influencia la solubilidad del oxígeno.

El pH es una medida de alcalinidad o acidez del agua. Es importante mantener un pH constante a un rango óptimo, porque éste afecta la

asimilación de nutrientes y otros procesos funcionales de los organismos de cultivo. Puede generar estrés, aumentar la susceptibilidad a enfermedades, reducir los niveles de producción, causar un pobre desarrollo y en el peor de los casos, la muerte del animal.

1.4.2 Laboratorio de larvas

Los laboratorios de larvas de camarón se caracterizan en el proceso de crianza del camarón desde su primera etapa larvaria conocida como nauplios, hasta su etapa de post-larva [6], donde pasan a las piscinas camaroneras para su etapa juvenil y adulta, después de la cual son comercializados para el consumo nacional o exportación. Este proceso conlleva varias fases teniendo en cada una de estas, sus respectivos parámetros fundamentales a tomar en consideración, como se muestra en la Tabla 1.1. Además, los laboratorios de larvas de camarón poseen unidades o estaciones de trabajo con ciertas funciones específicas, descritas a continuación [8].

Cría de Progenitores

La obtención de post-larvas de camarón para su cultivo puede lograrse de la siguiente forma: post-larvas, hembras maduras y progenitores del medio natural o criados en cautiverio. Esta unidad busca la obtención continua de progenitores “libres de virus” y largo plazo, poder realizar una selección genética.

Maduración

Esta unidad debe reunir las condiciones propicias para el desarrollo de las gónadas con el fin de conseguir la reproducción de los animales, la cual se produce por fecundación natural o por inseminación.

Desove

Esta unidad debe certificar la producción de huevos, almacenando las hembras grávidas que emergen de los tanques de maduración.

Eclosión

El módulo debe estar totalmente oscuro a excepción de una abertura en la tapadera al nivel de la salida del agua. Los nauplios con calidad se dirigen por fototropismo hacia la luz, de donde son llevados por la corriente hasta el sistema de recuperación.

Cría Larval

La función de esta unidad consiste en llevar los nauplios hasta el estado de post-larva.

Producción de algas

Se produce el fitoplancton, alimento de los primeros estados larvales.

Artemia

El objetivo consiste en producir suficiente cantidad de nauplios de artemia para alimentar las larvas desde Mysis I hasta la salida.

Tabla 1.1 Parámetros en los tanques de larvas de camarón

Parámetro	Rango dependiente de etapa larvaria y especie
Temperatura	22 – 33 °C
Salinidad	20 a 38 ‰
pH	7 y 8,7
Oxígeno Disuelto	4 a 7 mg/L

1.4.3 Tecnología Zigbee

Zigbee es un protocolo basado en el estándar IEEE 802.15.4, con aplicaciones WPAN de bajo costo y consumo, para la comunicación con una reducida tasa de datos a largo y corto alcance en redes inalámbricas. Se estableció para dispositivos inalámbricos que trabajan en las frecuencias de 868 MHz, 915 MHz y 2.4 GHz. La técnica de modulación es DSSS, la cual posee una velocidad máxima para transferencia de datos de aproximadamente 250 Kbps [9].

La Tabla 1.2, muestra una comparación entre las tecnologías Wifi, Bluetooth y Zigbee.

Tabla 1.2 Comparación entre tecnologías WiFi, Bluetooth y Zigbee

	WiFi	Bluetooth	Zigbee
Velocidad	<50 Mbps	1 Mbps	<250 kbps
Núm. Nodos	32	8	255 / 65535
Duración batería	Horas	Días	Años
Consumo en transmisión.	400 ma	40 ma	30 ma
Consumo en reposo	20 ma	0.2 ma	3 μ a
Configuración	Compleja	Compleja	Simple
Aplicaciones	Internet en edificaciones.	Informática y móviles.	Domotización y monitoreo.

Arquitectura Fundamental de una Red Zigbee

Una red zigbee la conforman 3 tipos de elementos básicos. Un único dispositivo coordinador, dispositivos enrutadores y dispositivos finales.

- El Coordinador: Es el dispositivo más completo. Controla el ruteo y la gestión en la red.
- Los Enrutadores: Se encargan de la interconexión de los dispositivos mediante procesos de direccionamiento.
- Dispositivos Finales: Son elementos pasivos de la red, capaces de interactuar con las peticiones de los dispositivos superiores.

Los dispositivos Zigbee, son versátiles para establecer diferentes tipos de topologías de red según la Figura 1.1. Según la serie de Zigbee seleccionada, se pueden desarrollar redes:

- Par: La manera más simple de implementar la red es con dos nodos. Uno de estos, debe ser el coordinador.
- Estrella: Para esta topología, el coordinador es el núcleo de la red y quién se conecta con los demás dispositivos.
- Malla: Esta configuración cuenta con un dispositivo coordinador y varios nodos enrutadores. Esta topología permite que, si en un determinado momento un nodo o camino fracasan en la

comunicación, esta pueda seguir restableciendo los caminos. La gestión de esta tarea le corresponde al coordinador.

- **Árbol:** Los enrutadores conforman una columna vertebral en conjunto con los dispositivos finales, que están agrupados alrededor.

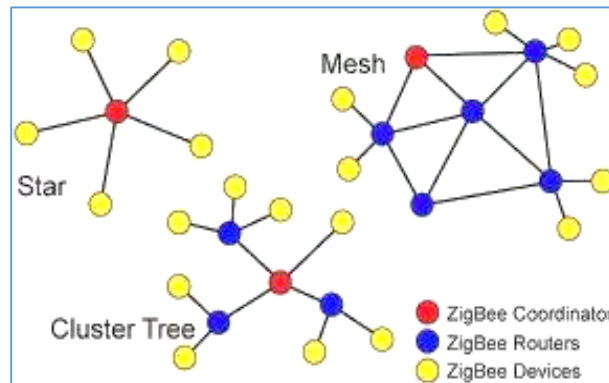


Figura 1.1 Topología de la tecnología Zigbee

1.4.4 Tecnología SCADA

SCADA es un sistema diseñado para controlar y supervisar datos o parámetros a grandes distancias en forma remota. Estos sistemas mejoran la eficiencia de supervisión y control, proporcionando la información necesaria que influyen en decisiones con respecto a el flujo de trabajo.

Es necesario para implementar un sistema SCADA que el proceso a controlar cumpla con las siguientes características:

- El número de variables a monitorear es alto.
- El proceso debe (no necesario) estar geográficamente distribuido.
- Se requiere información en tiempo real.

Las funciones básicas realizadas por un sistema SCADA son:

- Control y supervisión remota de infraestructura y equipos.
- Procesamiento de datos.
- Representación de señales de alarma.

Un sistema SCADA se encuentra constituido por los siguientes elementos:

- Interfaz Humano – Máquina (HMI).
- Unidad Terminal Maestra (MTU).
- Unidad Terminal Remota (RTU).
- Sistema de Comunicaciones.
- Transductores.

CAPITULO 2

2. SISTEMA DE ADQUISICIÓN, MONITOREO Y CONTROL

El presente proyecto se realiza en el laboratorio de larvas “Larvitec” con ubicación en la localidad de San Pablo - Santa Elena. El laboratorio sigue el proceso del camarón desde su primera etapa larvaria hasta PL12, donde es comercializado a las camaroneras.



Figura 2.1 Instalaciones de Larvitec

En estas instalaciones, se realiza el monitoreo de los parámetros presentes en sus tanques de forma manual, lo cual puede conllevar al error humano en la recolección de datos y generar un proceso tedioso debido a la cantidad de tanques y parámetros presentes. Estas mediciones se realizan mediante un analizador de agua tipo pluma (Megasupply), las cuales son tomadas en horarios específicos del día.

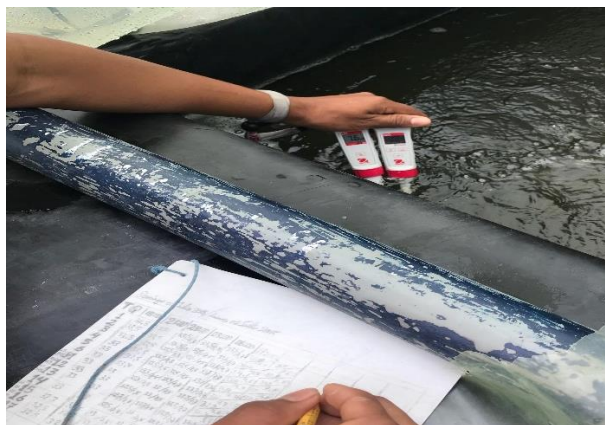


Figura 2.2 Medición manual de Temperatura, PH y Oxígeno disuelto.

El proceso de monitoreo se debe llevar a cabo durante un estimado de 18 a 20 días, tiempo estimado del proceso de sembrado de las larvas de camarón. Los parámetros que sigue el laboratorio se describen en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Parámetros en los tanques de larvas

Parámetro	Rango
Temperatura	28 - 33
Salinidad	33 ‰
pH	6 - 8
Oxígeno Disuelto	6 - 8 mg/L

Luego de estas observaciones que influyen en la producción, la solución presente en este proyecto toma gran relevancia para evitar posibles anomalías en etapa de producción. Es así que la implementación del sistema de una red de sensores para la supervisión de parámetros como la temperatura, pH y oxígeno disuelto son sustentables.

2.1 Análisis y configuración de la red inalámbrica.

Para obtener conectividad estable a internet, se realizaron pruebas en el acceso a internet que funcionaba en las instalaciones de Larvitec, la cual presentaba el inconveniente que los puntos de acceso se encontraban en distintas redes y solo uno de estos se encontraba en actividad. Debido a que el presente proyecto, tiene por objetivo el monitoreo remoto y local, la presente sección se dedicara a configurar correctamente la conectividad a internet en las instalaciones.

El proveedor de internet actual de Larvitec ofrece un ancho de banda de 20 Mbps, el cual es idóneo para las actividades diarias en el laboratorio y además para la implementación del presente proyecto. Los puntos de acceso se encuentran distribuidos de tal forma que brindan cobertura al área de oficinas, sala de larvicultura y gerencia, como se aprecia en la Figura 2.3.

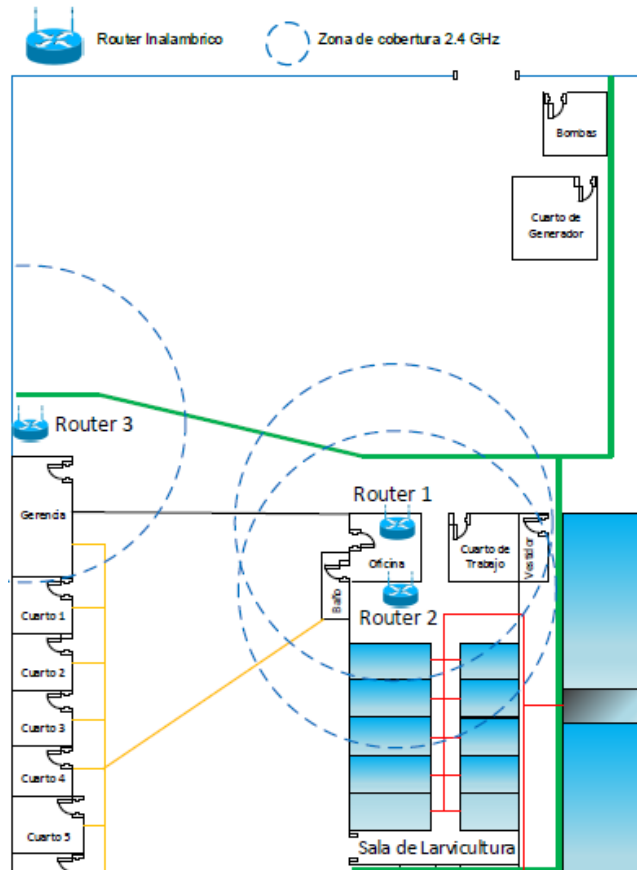


Figura 2.3 Ubicación física de los puntos de acceso a internet

El punto de acceso principal es la gerencia, la cual cuenta con un enrutador WiFi, el cual, mediante cable ethernet se interconecta a los otros puntos restantes, que a su vez cuentan con enrutadores WiFi de igual forma. Cada uno de estos puntos de acceso se los configura en la misma red según se muestra en la Tabla 2.2, para que todos los dispositivos en ella tengan comunicación y de esta manera, se lleva a cabo el monitoreo en forma local en cualquier lugar del laboratorio.

Tabla 2.2 Configuración de enrutadores

	Router 1	Router 2	Router 3
Ubicación	Oficinas	S. Larvicultura	Gerencia
IP	192.168.1.1	192.168.1.5	192.168.1.3
Mascara/Subred	24	24	24
Modo	Gateway	Bridge	Bridge

El enrutador principal se encuentra en modo Gateway, realiza NAT y es quien dispone de DHCP, en otras palabras, se encarga de brindar el acceso a internet y de asignar las direcciones IP a los dispositivos que se conecten a este. Los dos enrutadores restantes, se encuentran en modo Bridge, es decir, solo se encargan de ampliar la cobertura hacia otros dispositivos según su rango y ubicación.

2.2 Selección de Equipos

En primera instancia se recolectan los datos de temperatura, pH y oxígeno disuelto en el tanque mediante los sensores, que fueron seleccionados con las especificaciones propicias para el ambiente. Luego, estos datos son acondicionados por sus respectivas tarjetas y enviados a la RTU. Una vez aquí, los datos son tratados para su lectura, la cual se realiza mediante un dispositivo de visualización en sitio. Para su control, se tiene un módulo de conmutación en conjunto con su etapa de fuerza; y para su posterior envío de manera inalámbrica con ayuda del módulo transmisor. La recepción de los datos la realiza el módulo receptor interconectado a la MTU, quien se encarga de enviar los datos hacia la HMI para el cliente local y con ayuda de la shield ethernet hacia internet para el cliente remoto. Así lo muestran el diagrama de flujo y el diagrama funcional del sistema según la Figura 2.4 y la Figura 2.5, respectivamente.

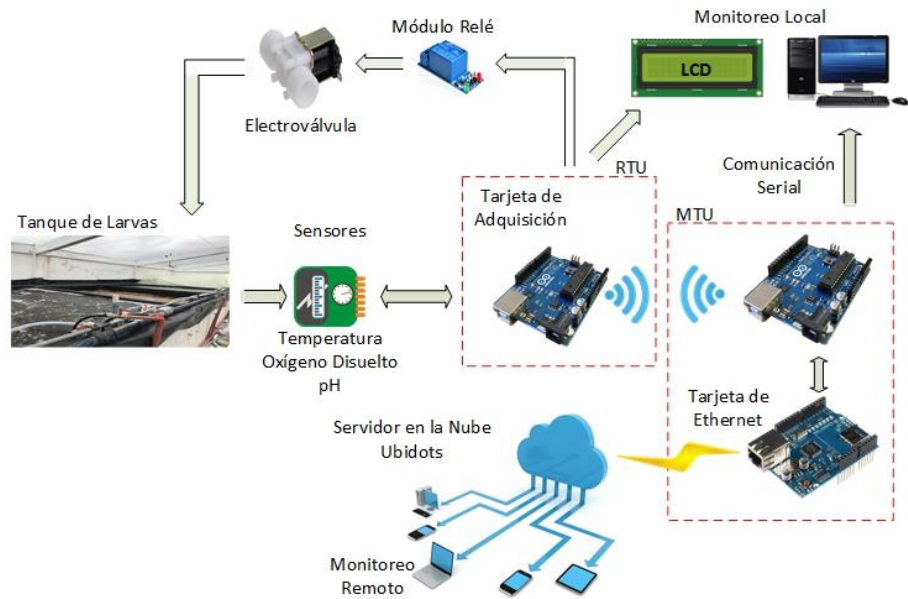


Figura 2.4 Diagrama de flujo del sistema

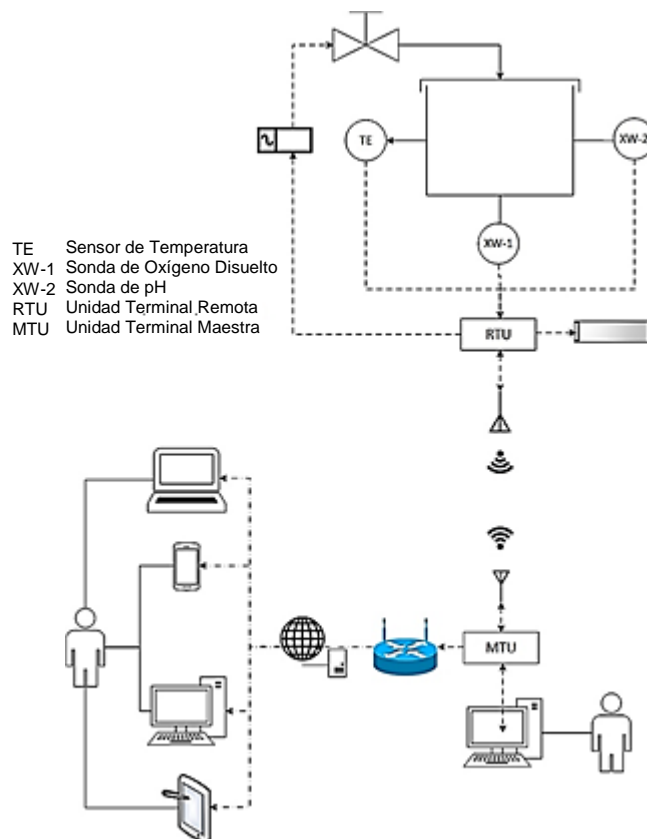


Figura 2.5 Diagrama funcional del sistema

En la presente sección se describe todos los equipos a utilizar, sus características y su participación en el proyecto.

2.2.1 Componentes del Sistema de Adquisición, Control y Transmisión

A continuación, se describen los equipos que conforman la Unidad Terminal Remota en conjunto con los sensores, actuadores y el sistema de comunicación, los cuales se encarga del tratamiento, adquisición, control y transmisión de datos hacia la MTU, respectivamente. Además, se tiene como función la presentación de los datos en sitio.

Arduino Uno

Es un tarjeta de computacional basada en entradas, salidas (Ver Figura 2.6) y un entorno de desarrollo con el lenguaje Processing/Wiring. El IDE de código abierto es gratuito y su descarga está disponible en Internet. Las características más relevantes de este equipo son las siguientes:

- Microcontrolador ATmega328.
- Voltaje de entrada 7 ~ 12 VDC.
- 6 pines analógicos y 14 pines digitales.
- 32k de memoria Flash.
- Reloj de 16 MHz de velocidad.



Figura 2.6 Arduino Uno

Debido a las características antes mencionadas, esta plataforma es ideal para la adquisición y procesamiento de datos necesarios en la implementación de este proyecto, ya que sus entradas y salidas analógicas/digitales permiten la comunicación con los sensores, su

puerto serial será vinculado con el módulo Xbee y los puertos ISP con la shield ethernet.

Módulo Xbee Serie 2

Los módulos Xbee S2C son tarjetas que proporcionan un medio inalámbrico para comunicación efectiva entre dispositivos (Ver Figura 2.7). Estos módulos poseen el protocolo IEEE 802.15.4, mejor conocido como Zigbee, para implementar redes punto a punto o punto a multipunto. Fueron desarrollados para aplicaciones que necesiten baja latencia y sincronización de comunicación. Las características más relevantes de estos módulos son:

- Frecuencia de trabajo: 2.4 GHz.
- Velocidad de datos (máx): 250 Kbps.
- Modulación: DSSS.
- Rango de señal: Hasta 1200 metros.
- Sensibilidad: -100 ~ -102 dBm.
- Voltaje de la fuente: 2.1 ~ 3.6 VDC.
- 6 pines analógicos y 8 pines digitales.
- Interfaz de comunicación: SPI, UART.
- Capacidad de memoria: 32kB Flash, 2kB RAM.
- Temperatura de operación: -40 ~ 85 °C.



Figura 2.7 Modulo Xbee S2C

Los módulos proveen al presente proyecto de comunicación inalámbrica entre los Arduino dotando gran capacidad de reubicación en este ambiente donde una red cableada es poco factible.

Sensor de Temperatura DS18B20

El DS18B20 es un sensor digital de temperatura que implementa el protocolo One-Wire, el cual solo necesita un pin de datos para establecer la comunicación y permite conectar más de un sensor en el mismo bus. El equipo comercial con mayor utilidad por conveniencia y robustez presenta al sensor en el interior de un tubo pequeño de acero inoxidable, el cual es resistente al agua (Ver Figura 2.8). Las características más relevantes de este sensor son:

- Rango de temperatura: $-55 \sim 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Resolución: de 9 a 12 bits (configurable).
- Precisión: $\pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (de $-10^{\circ} \sim 85 \text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Tiempo de captura inferior a 750 ms.
- Alimentación: 3.0 ~ 5.5 VDC.



Figura 2.8 Sensor de Temperatura DS18B20

Kit Sensor de pH

Este kit permite medir con relativa sencillez el pH de un líquido ya que cuenta con su placa controladora que brinda un dato analógico proporcional a la medición de la sonda (Ver Figura 2.9). El controlador posee un regulador que permite una eficaz calibración de la sonda. Se recomienda limpiar cuidadosamente la sonda de darse un cambio de

líquido, para mantener su precisión. Las características más relevantes de este kit son:

Módulo pH-4502C

- Alimentación: 5 VDC.
- Consumo: 5 ~ 10 mA.
- Rango de medición pH: 0 ~ 14.
- Temperatura de medición: 0 ~ 80 °C.
- Precisión: $\pm 0.1 \text{ pH}$ (25 °C).
- Tiempo de respuesta: ≤ 5 segundos.
- Ajuste de ganancia.

Sonda pH BNC E-201

- Rango de pH: 0 ~ 14.
- Rango de temperatura: 0 ~ 60 °C.
- Punto cero: $7 \pm 0.5 \text{ pH}$.
- Salida: $-1.25 \sim 1.25 \text{ VDC}$.
- Porcentaje de pendiente teórica: $\geq 98.5\%$.
- Tiempo de respuesta: $\leq 1 \text{ min}$.



Figura 2.9 Kit Sensor de pH

Kit Sensor de Oxígeno Disuelto

Este producto se emplea para medir el oxígeno disuelto en agua. Se utiliza en muchas aplicaciones de calidad del agua, como la acuicultura, la vigilancia del medio ambiente, las ciencias naturales, etc. La sonda galvánica no necesita tiempo de polarización y está disponible en

cualquier momento. La solución de llenado y la tapa de membrana son reemplazables, lo que permite un bajo costo de mantenimiento. La placa del convertidor de señal es plug and play, y tiene buena compatibilidad (Ver Figura 2.10). Las características más relevantes de este kit son:

Sonda de oxígeno disuelto

- Rango de detección: 0 ~ 20 mg / L.
- Rango de temperatura: 0 ~ 40 °C.
- Tiempo de respuesta: 90 segundos.
- Vida del servicio del electrodo: 1 año (uso normal)
- Período de reemplazo de la tapa de membrana:
1 ~ 2 meses (en agua fangosa); 4 ~ 5 meses (en agua limpia)
- Período de reemplazo de la solución de llenado: una vez al mes
- Longitud del cable: 2 metros.
- Conector de sonda: BNC.

Módulo Gravity DFRobot

- Voltaje de suministro: 3.3 ~ 5.5 VDC.
- Señal de salida: 0 ~ 3 VDC.
- Conector de cable: BNC.



Figura 2.10 Kit Sensor de oxígeno disuelto DFROBOT

Módulo Relé

El módulo cuenta con un optoacoplador para soportar la conmutación de cargas con alta potencia (Ver Figura 2.11). Las entradas de control están

aisladas para minimizar el ruido que pueda apreciar el circuito de control en el instante en que se da alguna conmutación de carga. La señal de control la puede proveer cualquier circuito de control CMOS o TTL. Las características más relevantes de este módulo son:

- Alimentación: 3.3 ~ 5 VDC.
- Contacto nominal: 10 A ~ 120 VAC.
- Número de relevadores: 1 de 1 polo 2 tiros.
- Temperatura de trabajo: $-30 \sim 85$ °C.



Figura 2.11 Modulo relé con optoacoplador

Electroválvula

Es una válvula electromecánica (Ver Figura 2.12), con el propósito de controlar el flujo de un líquido a través de un conducto o tubería. Tiene solo dos posiciones: cerrado y abierto. Las características más relevantes de este dispositivo son las siguientes:

- Voltaje: 12 VDC.
- Medida: 1/2 pulgada.
- Temperatura del ambiente: $0 \sim 40$ °C.
- Características de flujo: 0.02 ~ 0.08 Mpa; 3 ~ 25 L/min.

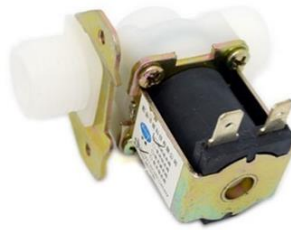


Figura 2.12 Electroválvula

La interconexión de los componentes antes descritos se muestra en la Figura 2.13.

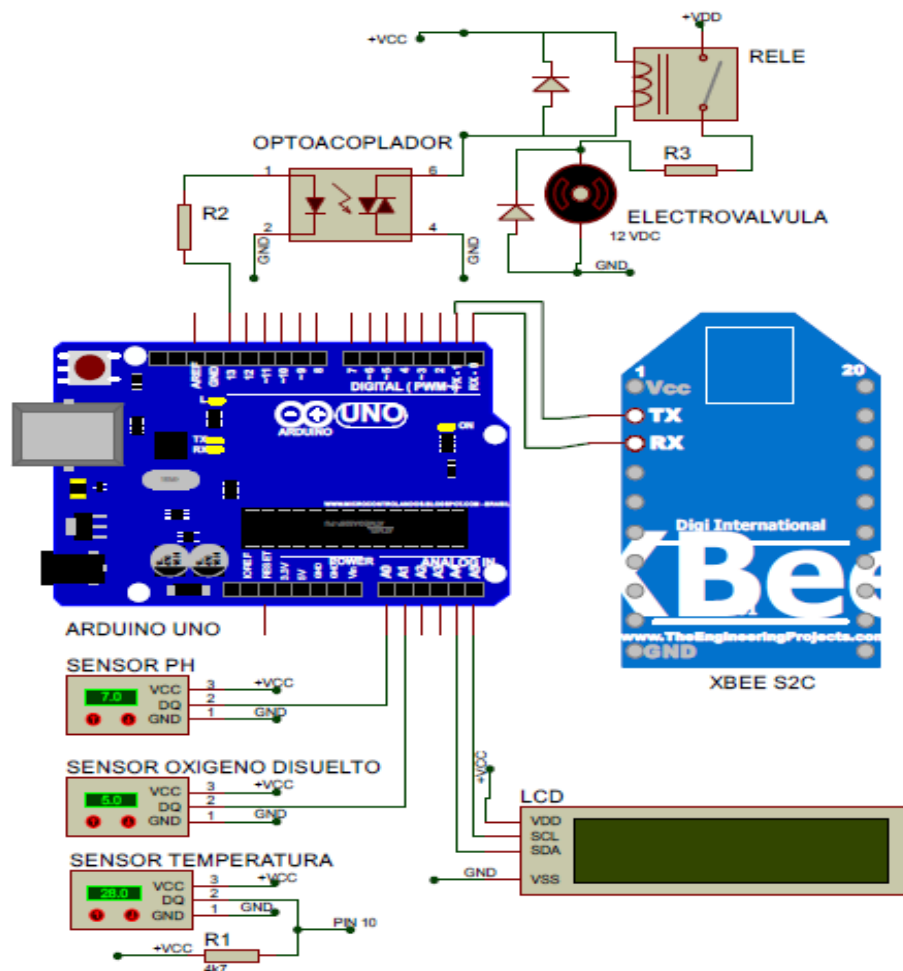


Figura 2.13 Sistema de Adquisición, Control y Transmisión.

2.2.2 Componentes del Sistema de Monitoreo y Recepción

A continuación, se describen los equipos que conforman el sistema de recepción de datos y la Unidad Terminal Maestra, encargados de la acogida y presentación de datos en las oficinas del laboratorio. Esta unidad debe conectarse al computador y a un ruteador para este fin. Cabe destacar que una segunda placa Arduino Uno y un segundo módulo Xbee S2C son utilizados en la adquisición y transmisión de datos, descritos en la sección 2.2.1.

Shield Ethernet W5100

Este producto permite conectar a internet o a una LAN la placa Arduino. Se monta sobre el Arduino y posee sus propias librerías para la comunicación (Ver Figura 2.14). Las características más relevantes esta shield son las siguientes:

- Buffer de memoria interna de 16 KB.
- Stack de red (IP) con capacidad para TCP y UDP.
- Soporta hasta 4 sockets independientes y simultáneos.
- Posee jack RJ-45 estándar y transformador de línea integrado.
- Conector para incluir memoria microSD.
- Habilitado para PoE.

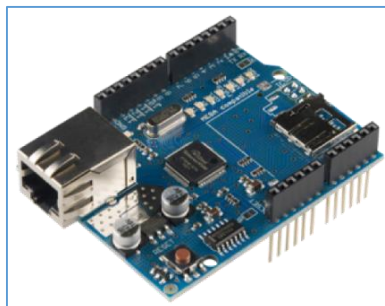


Figura 2.14 Shield Ethernet W5100

Además de los componentes antes descritos se requiere del entorno Arduino IDE (Ver Figura 2.15), el cual permite generar, compilar y cargar

códigos que la placa Arduino puede ejecutar para que empiece a trabajar de manera autónoma. Está basado en Processing y los archivos creados tienen la extensión “.ino” y se denominan sketches. Cabe destacar que, para poder cargar un sketch, la placa arduino se comunica de forma serial con un computador mediante el puerto USB.

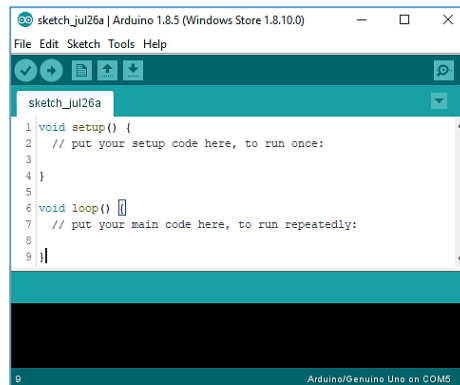


Figura 2.15 Software Arduino IDE

Por otro lado, se requiere del software XCTU que permite la interacción con módulos Digi RF a través de una interfaz gráfica (Ver Figura 2.16). Incluye herramientas que facilitan la actualización, configuración y prueba de los módulos XBee.

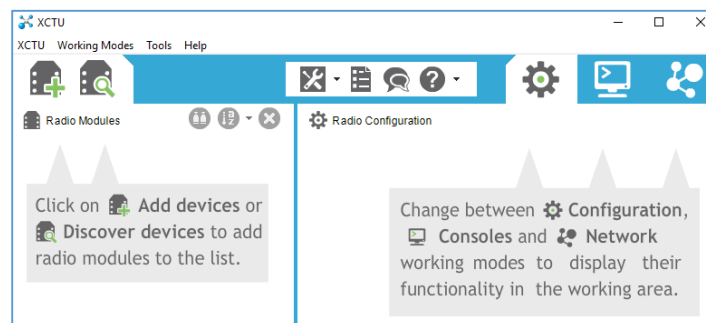


Figura 2.16 Software XCTU

La interconexión de los componentes antes descritos, se muestran en la Figura 2.17.

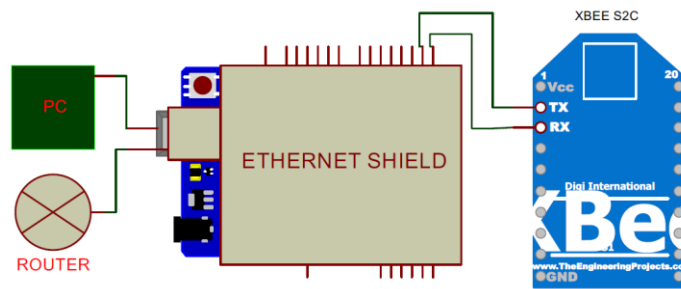


Figura 2.17 Conexiones del Sistema de Monitoreo y Recepción

2.3 Adquisición e Intercambio de datos

Los parámetros físicos fundamentales del tanque como oxígeno disuelto, temperatura y pH; se obtienen mediante sondas con tarjetas de adquisición, acondicionamiento y compatibles con arduino. El arduino procesa esta información, la envía por puerto serial al módulo Xbee ruteador, la presenta mediante la pantalla LCD y la administra para efectuar el proceso de control con el relé y la electroválvula.

La sonda digital de temperatura DS18B20 que posee protocolo de comunicación 1-wire, no requiere calibración previa e implementa su propia librería compatible con arduino, es decir tiene las funciones necesarias que permiten obtener la lectura de los datos de una forma intuitiva. Para este propósito, en un modo de trabajo, la sonda requiere una resistencia de pull-up cuyo valor es de 4.7 Kilo-Ohmios, conectada en su cable de datos para la lectura y se energiza con 5 VDC, tal como se muestra en la Figura 2.18.



Figura 2.18 Conexión de la Sonda de Temperatura DS18B20

La sonda analógica de pH E-201 necesita ser calibrada para ser usada fielmente bajo un punto de operación específico. Al tener una respuesta lineal se requiere calibrar la sonda con dos puntos de referencia. Para este efecto, se usan 2 polvos de pH con valores de 4,01 y 6,86 mezclados con agua destilada que al compararlos con los valores teóricos permiten obtener una función para la correcta lectura de pH [10]. Este proceso y su resultado se muestra en la Figura 2.19 y en la Tabla 2.3, respectivamente.

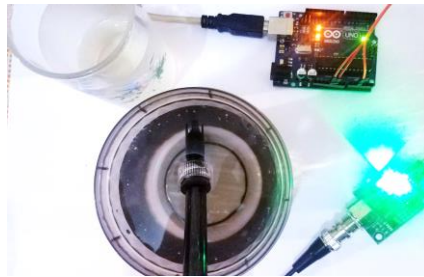


Figura 2.19 Calibración para sonda de pH

Tabla 2.3 Resultados para calibración de pH

pH	Voltaje
4,01	3
6,86	2,53

La tarjeta de adquisición para este sensor es necesaria puesto que posee una ganancia y un offset que puede ser manipulados con potenciómetro más cercano al conector BNC debido a que la sonda en su salida devuelve valores teóricos de -1.25 a 1.25 Vdc y la placa arduino solo lee valores analógicos de 0 a 5 Vdc. En el presente proyecto, el offset se calibró en el valor de 2,5 Vdc para un pH de 7 al cortocircuitar la salida del conector BNC, según se observa en la Figura 2.20.

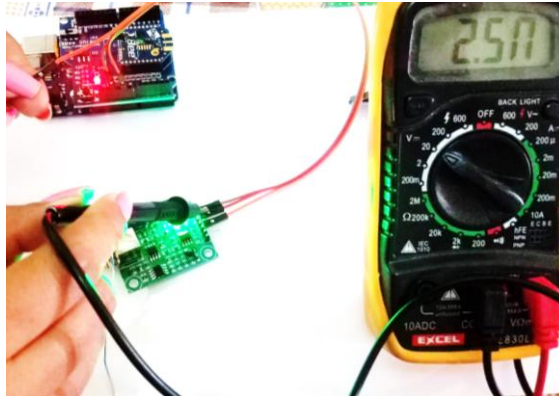


Figura 2.20 Calibración para tarjeta de adquisición pH

Una vez finalizado el proceso de calibración, se procede a energizar el circuito para la lectura de los datos considerando que la respuesta del sensor requiere un tiempo para estabilizarse según sea la sustancia.

Para la obtención del dato de pH, se realiza un promedio de 10 lecturas, recordando el hecho que una escala de pH mayor a 7 implica una sustancia alcalina y una escala de pH menor a 7 corresponde a una sustancia ácida.

La sonda de oxígeno disuelto, requiere de una calibración previa antes de ser utilizada por primera vez y después de un cierto tiempo de uso. Como primer punto, la sonda dispone de una membrana permeable que protege al electrodo y la cual se rellena con hidróxido de sodio a una concentración de 0,5 mol/L. En este proceso, se debe tener particular cuidado, puesto que el hidróxido de sodio es una sustancia corrosiva. Luego, se introduce la sonda en agua saturada de oxígeno y luego se expone al aire, para mediante un algoritmo, realizar la calibración de las lecturas que dependen también de la temperatura del líquido, tal como se muestra en la Figura 2.21. Una vez terminado este proceso, la sonda se encuentra lista para realizar las mediciones.

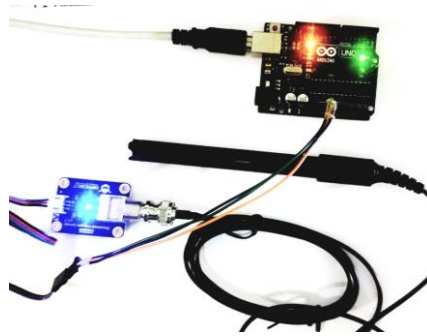


Figura 2.21 Calibración para sonda de oxígeno disuelto

Los datos de los sensores son recolectados por la RTU, acondicionados y presentados en una pantalla LCD en sitio (Ver Figura 2.22), la cual se encuentra en modo sleep hasta que se presione un botón para encender su luz que permitirá la correcta visualización. Esto se realiza con la finalidad de precautelar la integridad de la placa arduino, puesto que la luz led tiene un consumo de corriente relativamente alto.

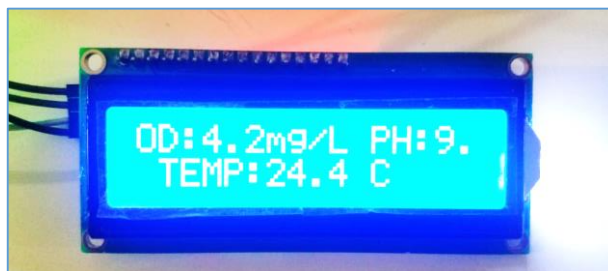


Figura 2.22 Datos mostrados en LCD

Al mismo tiempo la RTU monitorea el dato de temperatura en el tanque, con un lazo de histéresis como se muestra en la Figura 2.23, para enviar una señal de ON/OFF hacia un módulo relé con optoacoplador, el cual separa la etapa de control y fuerza, protege el sistema y acciona una electroválvula, quién permite el paso de agua hasta que la temperatura se estabilice con sus parámetros óptimos.

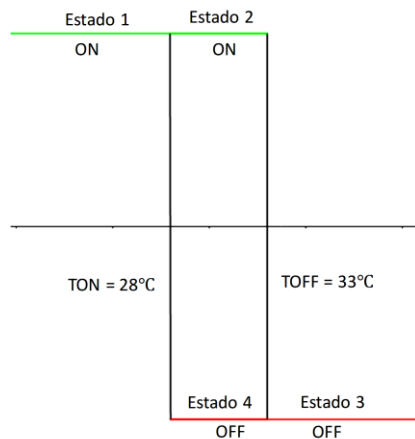


Figura 2.23 Diagrama de Estados para la electroválvula

Para la transmisión y recepción inalámbrica de datos, en primer lugar, se configura un módulo Xbee en modo ruteador y otro módulo Xbee en modo coordinador, utilizando la tarjeta USB Xbee Explorer y el software X-CTU, en el cual se debe introducir los parámetros adecuados que permiten una comunicación transparente, dado que la comunicación será punto a punto desde el tanque hacia la oficina. Los parámetros se indican en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Configuración Xbee para comunicación transparente

	Xbee Coordinador	Xbee Ruteador
DH	13A200	13A200
DL	4076E267	4076E26E
SH	13A200	13A200
SL	4076E26E	4076E267
PAN	1234	1234
CE	1	0

El Xbee ruteador y el Xbee coordinador se colocan sobre una shield con pines dispuestos para la interconexión con las placas arduino en la RTU y la MTU, respectivamente. Ambos utilizan el puerto serial inicializado a 9600 baudios para su correcta comunicación, caso contrario no podrán establecerla.

Así la RTU envía los datos hacia la MTU en una trama constituida en el orden establecido a conveniencia del desarrollo del proyecto. La trama posee un carácter de inicio, fin y separador de datos con el fin de obtener una correcta sincronización, tal como se muestra en la Figura 2.24 y la Figura 2.25.

```
void Enviar_Datos(float O, float T, float P){  
    Serial.print("*"); // Caracter de inicio de trama  
    Serial.print("|"); // Caracter separador de datos  
    Serial.print(O); // Dato de Oxigeno Disuelto  
    Serial.print("|");  
    Serial.print(T); // Dato de Temperatura  
    Serial.print("|");  
    Serial.print(P); // Dato de PH  
    Serial.print("|");  
    Serial.println("#"); // Caracter de fin de trama  
}
```

Figura 2.24 Función para transmisión de datos

***|OD|Temp|PH|#**

Figura 2.25 Trama de datos

La MTU receipta e interpreta estos datos (Ver Figura 2.26), los acondiciona y finalmente están listos para su presentación mediante la HMI.

```
void Recepcion_Datos(){  
    char cadena = ' '; // Cadena para almacenar los datos  
    while(Serial.available()==0){ // Espera a que se terminen de recibir los datos  
        cadena=Serial.read(); // Lee los datos y los almacena  
        if(cadena!='*') return; // Continúa solo si, recibe el caracter de inicio de trama  
        // Lectura de Datos  
        OD=Serial.parseFloat(); // Obtiene dato de oxigeno disuelto  
        Temperatura=Serial.parseFloat(); // Obtiene datos de temperatura  
        PH=Serial.parseFloat(); // Obtiene datos de PH  
    }  
}
```

Figura 2.26 Función para recepción de datos

Para pruebas preliminares, se arman prototipos para la MTU y la RTU como sistemas embebidos facilitando su transporte, manipulación y observación de los datos obtenidos, tal como se observa en la Figura 2.27 y en la Figura 2.28.



Figura 2.27 Prototipo de la RTU



Figura 2.28 Prototipo de la MTU

2.4 Monitoreo y Control del Sistema

El sistema se monitorea en forma remota debido a la conexión a internet mediante la shield de Ethernet asociada a la MTU. En esta se configura al arduino como cliente de un servidor web conocido como Ubidots, que permite un acceso gratuito y cuenta con una interfaz gráfica configurable, llamativa y dinámica la cual se actualiza en tiempo real y permite el análisis de los datos en el eje vertical vs el tiempo en el eje horizontal, según se muestra en la Figura 2.29. Para este fin, se envían los datos hacia este servidor como variables en conjunto con su identificador para el sistema y así el servidor realiza su reconocimiento.



Figura 2.29 Visualización de los datos mediante un Smartphone

Para el monitoreo local, se puede utilizar el software Arduino IDE con su herramienta monitor serial, pero en conjunto a esto, se creó una interfaz que brinda el valor de los datos adquiridos por los sensores en tiempo real, esta comunicación se la realiza de manera serial en conjunto con el Arduino coordinador interconectado al computador que actuará como el servidor local, mediante la administración del puerto 80, usando la plataforma node.js. Una vez establecida la ruta al servidor local, se accede al puerto del computador y se muestran los datos con sus respectivos indicadores, como se observa en la Figura 2.30.

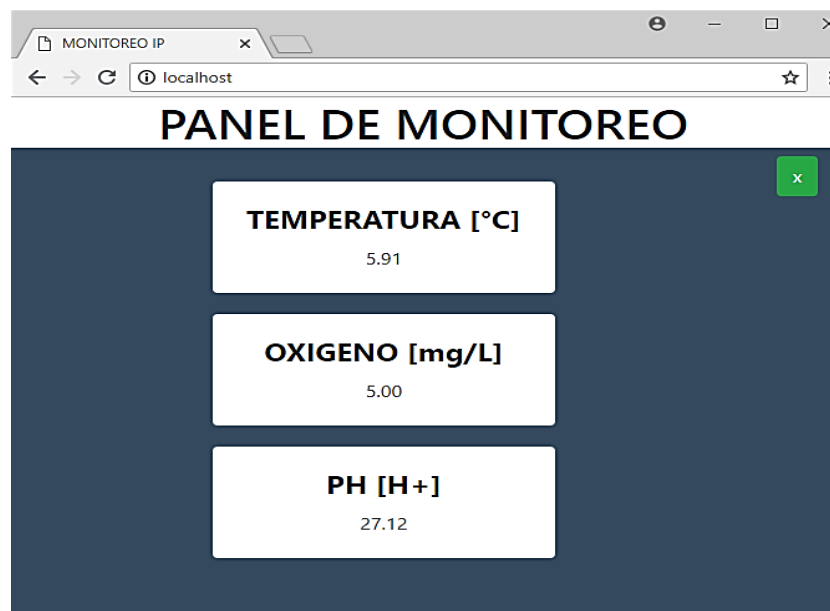


Figura 2.30 Monitoreo en el servidor local

2.5 Instalación y configuración del sistema

Las pruebas en las instalaciones de Larvitec, se realizaron en conjunto con el dueño del establecimiento, y el biólogo encargado de las operaciones del laboratorio. El experimento se realizó en un tanque de larvas que estaba a punto de ser cosechado según la Figura 2.31, por lo cual se constituyó en un factor fundamental para el prototipo diseñado.



Figura 2.31 Mediciones en Larvitec con prototipo

El prototipo se mantuvo en funcionamiento, aproximadamente 8 horas, tiempo en el cual se realizaron las respectivas mediciones, realizando una comparación con los equipos especializados disponibles en el laboratorio y finalizó puesto que el tanque era requerido para la respectiva cosecha.

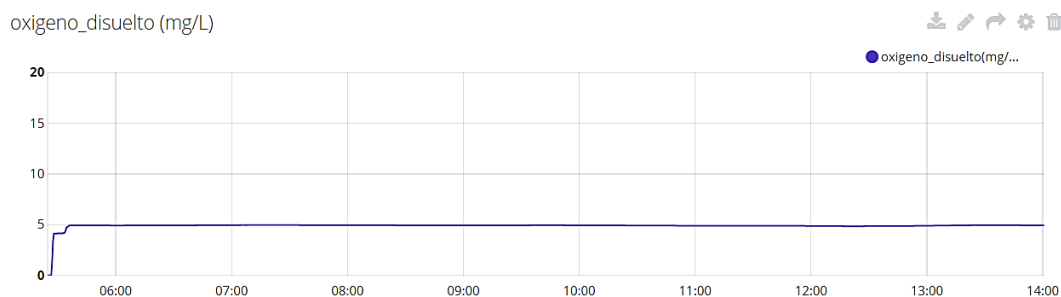


Figura 2.32 Datos de Oxígeno Disuelto en Ubidots

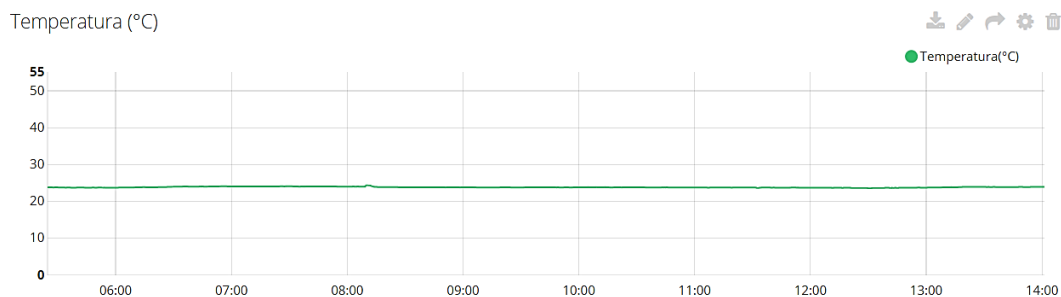


Figura 2.33 Datos de Temperatura en Ubidots

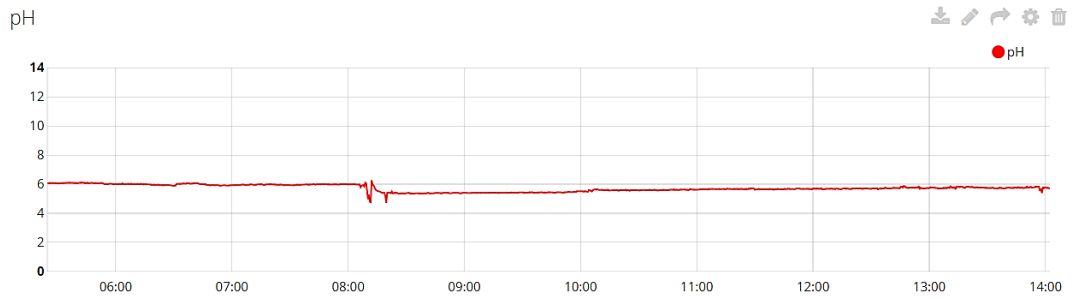


Figura 2.34 Datos de pH en Ubidots

Una vez verificado, el correcto funcionamiento del prototipo del equipo, se procedió a el ensamble de una cubierta protectora que resista las condiciones ambientales y permita su manipulación en campo de manera intuitiva, obteniendo el equipo mostrado en la Figura 2.35.

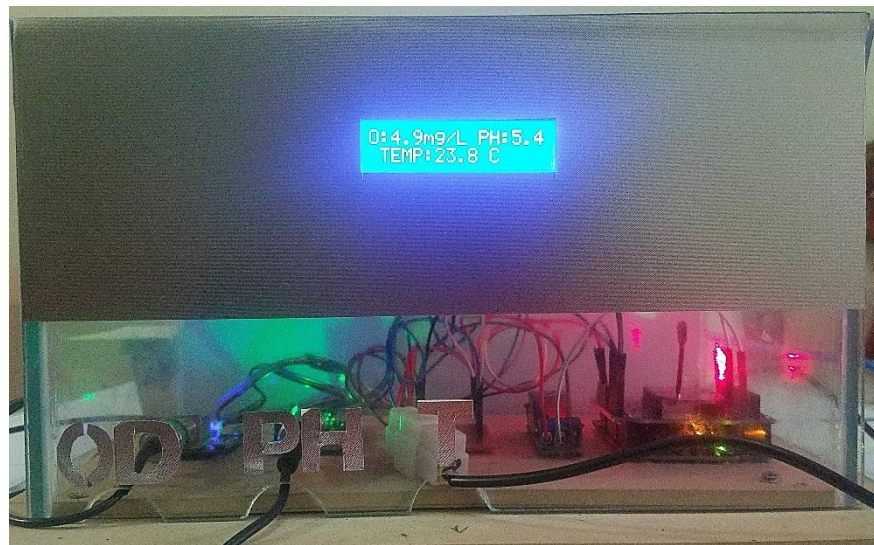


Figura 2.35 Prototipo Final

Como se mencionó anteriormente, el proyecto se implementó en uno de los tanques del laboratorio, pero es posible su expansión para los demás tanques debido a la configuración de red en malla que ofrece el sistema de comunicación mediante los Xbee. Esta topología de red, consta de 1 único dispositivo como Coordinador, mientras que los demás actuarían como ruteadores. Además, esta configuración se basa en una trama, de la cual se pueden obtener mensajes de alertas en caso de una falla en la comunicación y permite la comunicación donde el coordinador recibe los

mensajes de los respectivos ruteadores. En caso de que la distancia entre un router y el coordinador imposibilite la comunicación, los ruteadores se pueden comunicar entre sí, para lograr hacer llegar el mensaje al coordinador, y así obtener los datos de todos los dispositivos interconectados en los respectivos tanques. Debido a las características de los pines de entrada del Xbee y los sensores deseados, un dispositivo Xbee podría recolectar los datos de hasta 3 tanques. Por tanto, la posible red se muestra en la Figura 2.36.

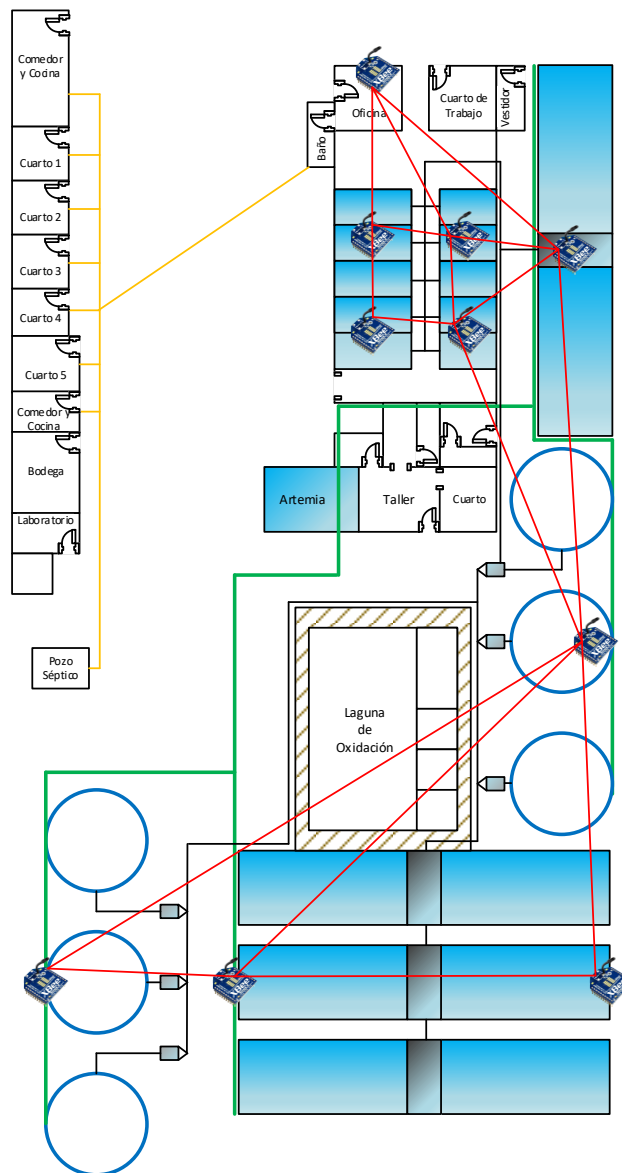


Figura 2.36 Red de comunicación en malla

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DEL SISTEMA EN EJECUCIÓN

A continuación, se describe ampliamente los resultados obtenidos de la solución, presentando los datos más representativos y relevantes, con respaldo en pruebas realizadas a lo largo del proyecto.

3.1 Análisis de RSSI en la comunicación inalámbrica

El indicador de intensidad recibida mide la cantidad de potencia de una señal de radio en una antena y es una manera de determinar la calidad de enlace de una comunicación. En el presente proyecto utiliza módulos Xbee S2C para proveer una comunicación inalámbrica. Con ayuda del software XCTU se configuró dichos módulos lo cuales, cuentan con un pin especializado en la medición de RSSI. Se efectuaron varias pruebas para determinar la calidad del enlace entre transmisor y receptor en distintos escenarios y el alcance máximo aproximado bajo estas condiciones.

En la Tabla 3.1, se aprecian los resultados de un primer experimento efectuado en la ciudad de Guayaquil en un entorno exterior a varias distancias.

Tabla 3.1 Resultados para el análisis de RSSI en ambiente exterior

Distancia (m)	RSSI (dBm)	Paquetes Recibidos	% Efectividad
1	-32	100	100
20	-52	100	100
40	-58	99	99
60	-70	100	100
80	-73	98	98
100	-79	97	97

En la Tabla 3.2, se muestran los resultados obtenidos en un entorno interior, el cual cuenta con varios ambientes que simulan pérdida de línea de vista, y a varias distancias.

Tabla 3.2 Resultados para el análisis de RSSI en ambiente interior

Distancia (m)	RSSI (dBm)	Paquetes Recibidos	% Efectividad
1	-36	100	100
5	-53	100	100
10	-66	100	100
15	-76	99	99
20	-89	70	70

Finalmente, se realizó el experimento en las instalaciones de Larvitec, donde se realizó la instalación del proyecto, a la distancia entre el sistema de monitoreo y el sistema de adquisición, obteniéndose los resultados mostrados en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 Resultados para el análisis de RSSI en Larvitec

	Distancia (m)	RSSI (dBm)	Paquetes Recibidos	% Efectividad
Sin Línea de Vista	15	-82	100	100
Con Línea de Vista	15	-55	97	97

Los resultados obtenidos muestran un nivel de señal relativamente bueno, debido a la interferencia de otras señales como Wi-Fi, recordando el hecho que Zigbee tiene su frecuencia de operación en la misma banda (2.4GHz), además la humedad en el ambiente salino de la localidad afecta la señal. Por todo esto, fue de gran relevancia escoger la tecnología Zigbee, ya que provee de una comunicación robusta para el proyecto puesto que se observa que, a pesar del nivel de señal, la efectividad en la entrega de paquetes de información es excelente.

3.2 Comparativa frente a equipos especializados

Las pruebas fueron realizadas en el Laboratorio de Húmedos en la FIMCBOR de la ESPOL. Los equipos utilizados son: YSI 550A para la medida de Oxígeno; OAKTON PC700 para la medida de pH. Ambos equipos cuentan con un medidor de temperatura en su interfaz. Se realizó la mediciones de oxígeno y temperatura disuelto en un tanque con varios peces, y posteriormente se tomó una muestra del agua para la medida de pH, tal como se muestra en las Figura 3.1, Figura 3.2 y Figura 3.3.



Figura 3.1 Mediciones con prototipo



Figura 3.2 Medición de Oxígeno y Temperatura con YSI 550A



Figura 3.3 Medición de pH con OKATON PC 700

Las pruebas realizadas mostraron resultados satisfactorios en cuanto a exactitud de los valores medidos, puesto que estos eran muy cercanos, según el análisis presentado en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4 Primera comparativa para las mediciones

Parámetro	Prototipo	Equipos de Lab.	Porcentaje de Error
Oxígeno Disuelto	5.2	4.72	10.72%
Temperatura	24.5	24.9	1.61%
pH	6	5.77	3.99%

Así también, la Tabla 3.5 muestra los resultados en el experimento final en las instalaciones de Larvitec, donde el prototipo muestra un gran desempeño también en este campo, puesto que los valores comparados con los equipos especializados son similares y muy próximos.

Tabla 3.5 Segunda comparativa en las mediciones

Parámetro	Prototipo	Equipos de Lab.	Porcentaje de Error
Oxígeno Disuelto	4.85	5.12	5.27%
Temperatura	27.4	27.9	1.79%
pH	7.24	7.58	4.49%

3.3 Análisis de costos del sistema

En esta sección, se presentan los detalles con respecto a los costos relacionados a todos los componentes del sistema, desde su diseño hasta su implementación. Para realizar el análisis de costo del sistema se dividen los elementos en orden a su función en el sistema, como muestra a continuación.

- Kit de Sensores
- Sistema de Adquisición
- Sistema de Monitoreo
- Sistema de Control
- Elementos complementarios
- Mano de Obra
- Mantenimiento

Los costos del kit de sensores presentados en la Tabla 3.6, corresponden a la sonda y su respectiva tarjeta de adquisición. Las soluciones para la respectiva calibración son necesarias y están disponibles en el país a un costo moderado.

Tabla 3.6 Costos para Kit de Sensores

Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total
1	Sensor Temperatura DS18B20	\$10	\$10
1	Kit Sensor pH EC-201	\$55	\$55
1	Kit Sensor Oxígeno Disuelto DFROBOT	\$199	\$199
1	Solución Calibración Sonda OD	\$20	\$20
2	Buffer Solución pH	\$5	\$10
		Total	\$289

Los costos que se muestran en las Tabla 3.7 Tabla 3.8 Tabla 3.9, para los sistemas de adquisición, monitoreo y control respectivamente, corresponden a los equipos necesarios para el desarrollo de la función específica.

Tabla 3.7 Costos para el Sistema de Adquisición de Datos

Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total
1	Arduino Uno R3	\$15	\$15
1	Shield Xbee	\$10	\$10
1	Módulo Xbee S2C	\$45	\$45
1	Modulo LCD 16X2	\$5	\$5
1	Modulo LCD I2C	\$5	\$5
	Total		\$80

Tabla 3.8 Costos para el Sistema de Monitoreo de Datos

Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total
1	Arduino Uno R3	\$15	\$15
1	Shield Xbee	\$10	\$10
1	Módulo Xbee S2C	\$45	\$45
1	Shield Ethernet	\$20	\$20
	Total		\$90

Tabla 3.9 Costos para el Sistema de Control

Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total
1	Módulo Relé	\$5	\$5
1	Electroválvula	\$20	\$20
	Total		\$25

Los costos mostrados en la Tabla 3.10, se refieren a los elementos complementarios que son necesarios para la alimentación y protección de los componentes del sistema.

Tabla 3.10 Costos para Elementos Complementarios

Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total
1	Kit de Cables	\$10	\$10
1	Cubierta protectora para RTU	\$40	\$40
1	Cubierta protectora para MTU	\$5	\$5
1	Cargador 12 VDC	\$5	\$5
	Total		\$60

En la Tabla 3.11, se muestran los costos de mantenimiento, en los cual se hace énfasis para los sensores, puesto que estos se deben calibrar cada cierto tiempo debido a los agentes presentes en el lugar y sustancia a utilizar.

Tabla 3.11 Costos para Mantenimiento

Cant.	Descripción	Precio Unit.	Total
1	Mantenimiento Sonda de pH	\$10	\$10
1	Mantenimiento de Sonda de Oxígeno Disuelto	\$20	\$20
1	Mantenimiento de Sistema de Adquisición	\$10	\$10
1	Mantenimiento de Sistema de Control	\$5	\$5
1	Mantenimiento de Sistema de Monitoreo	\$5	\$5
		Total	\$50

Los valores mostrados corresponden al precio de mercado en el tiempo de adquisición de los productos, los cuales pueden cambiar sin previo aviso. Además, estos valores corresponden al sistema principal, el cual para el presente proyecto solo toma los datos de un tanque. La expansión del sistema es posible, pero cabe destacar que su costo de implementación se ve reducido de manera considerable, debido a que el sistema principal ya está constituido y solo sería necesario la adquisición de los respectivos sensores y los módulos Xbee para la comunicación en conjunto de los elementos complementarios para su alimentación y su protección.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación, se describe la importancia del trabajo desarrollado, interpretando los resultados, una breve comparación con otros trabajos realizados y las posibles mejoras de la propuesta.

Conclusiones

Al realizar la adecuada configuración para los puntos de acceso en las instalaciones del laboratorio, se logró apreciar el correcto funcionamiento de la misma y el acceso a internet desde cualquier lugar en el rango de cobertura lo cual permite el monitoreo local sin inconvenientes.

Los sensores seleccionados permiten conocer el estado de la calidad de agua, siendo elementos críticos en el sistema después de su calibración y una vez puestos en marcha, proporcionan las medidas fielmente para su interpretación, pero además se pueden añadir otros dispositivos existentes en el mercado que muestran otro tipo de parámetros de interés, los cuales pueden mejorar el sistema.

La comunicación inalámbrica es vital en las instalaciones del laboratorio, por el constante flujo de trabajo entre personas y, debido a esto, no es factible una red cableada. Por tanto, la transferencia de los datos de forma inalámbrica necesita un sistema fiable, siendo así la tecnología Zigbee soporte fundamental al proyecto y que cumple con sus necesidades de operación.

Se desarrolló del sistema con el objetivo de medir satisfactoriamente de forma continua los parámetros físicos de un tanque de larvas, para presentarlo mediante un servidor web y realizar una comparación con los equipos especializados disponibles en el laboratorio, destacando la importancia del acceso a internet para el análisis de los datos en tiempo real de forma remota. Se puede concluir que el dispositivo muestra

un excelente desempeño puesto que los datos obtenidos por el prototipo proporcionan las medidas correctas para la calidad de agua en larvicultura.

Recomendaciones

Realizar un mantenimiento periódico del sistema y las sondas en los tiempos estipulados por el fabricante, así se mantendrá la vida útil del producto final y no repercutirá en gastos innecesarios de reparación. Además, el mantenimiento preventivo es requerido puesto que el ambiente donde opera el sistema posee características no deseadas para los componentes electrónicos.

Considerar la adquisición de sondas industriales con características para el medio donde opera el equipo, debido que mejora la robustez del sistema, ya que éstas, disponen de superiores prestaciones y son diseñadas para la lectura continua de los parámetros deseados.

Mantener las características eléctricas y físicas para el funcionamiento óptimo del sistema electrónico diseñado, las cuales están detalladas en el manual del usuario proporcionado, para así mantener el sistema estable y sin errores en las medidas.

El dispositivo desarrollado busca monitorear la calidad de agua como un sistema fijo, con la ventaja que de ser necesario se puede convertir en un prototipo móvil, considerando el alcance de los equipos de comunicación.

La mejora del sistema es posible, las cuales dependen de los requerimientos del cliente; considerando que el sistema se instaló en un tanque, la expansión a una mayor cantidad de tanques es factible con un costo módico y accesible. Además, al ya poseer las mediciones, se puede aplicar un proyecto de automatización de otros procesos y agregar más sondas que permitan obtener otros parámetros como salinidad o total de sólidos disueltos. Finalmente, la conexión a internet se realiza por una red cableada, la cual se puede modificar para que opere con tecnología Wi-Fi.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Mendoza, «El comercio,» 18 Febrero 2018. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/camaron-rompe-liderazgo-banano-exportacion.html>.
- [2] E. Bravo, «"Caso 2: La Industria Camaronera en el Ecuador",» 2002.
- [3] «El Universo,» 17 Abril 2018. [En línea]. Available: <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/04/17/nota/6718194/tecnificarse-favorecio-nuevo-salto-camaron>.
- [4] G. A. R. M. M. P. X. C. B. Gerardo Francisco Sacarelo Vásquez, «Implementación de un Sistema de Monitoreo Basado en una red Inalámbrica para comparar el Consumo de Energía y Calidad de Servicio de una Red de Sensores en un Entorno Acuático,» *Publicación DSpace Espol*, p. 4.
- [5] Centro de Investigaciones Economicas y de la Micro, Pequeña y Mediana Empresa, «Procesamiento de camaron para exportacion,» Guayaquil, 2011.
- [6] M. Mendoza, «Revista Lideres,» 30 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/camaron-produccion-exportaciones-acuacultura-lideresexpres.html>.
- [7] M. Elisabeth Mayer, «Aquafeed,» 2012 mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.aquafeed.co/monitoreo-de-la-calidad-de-agua-del-estanque-para-mejorar-la-produccion-de-camarones-y-peces/>.
- [8] FAO, «FAO,» [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC410S/AC410S01.htm>.
- [9] «ieee.org,» [En línea]. Available: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>.
- [10] D. Cervantes, «Scidle,» 10 marzo 2017. [En línea]. Available: <https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>.
- [11] CAMARONICULTURA, «Manual operativo y definicion de un laboratorio,» [En línea]. Available: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AC410S/AC410S01.htm>.

- [12] H. Lucien-Brun, «Análisis de las condiciones de bioseguridad de los laboratorios de producción de postlarvas de camarón,» 4ta Reunion Científica y Tecnológica sobre el Cultivo de Camaron, Obregon, 2018.
- [13] Vermesan, «Internet of Things – From Research and Innovation to Market Deployment,» River Publisher.
- [14] Wikipedia, Definición Node.js.
- [15] C. A. Villamar Ochoa, «La artemia salina y su importancia en la producción camaronera,» *Revista Aquatic*, octubre 2000.
- [16] M. Aguirre Plaza, «Manejo de Reproductores para Cultivo de Camarones Peneidos de Telicum Abierto,» *Aquatic*, 2000.

ANEXOS

Anexo A

Manual de Usuario

H2OC Versión 1.0

Contenido

- Introducción
- Características
- Componentes
- Modo de empleo
- Recomendaciones
- Advertencias

Desarrollado por:

Roberto Franco Piguave

E-mail: rcfranco@espol.edu.ec

Jonathan Méndez Zambrano

E-mail: jxmndz@espol.edu.ec

Introducción

El Kit H2OC 1.0 permite conocer la calidad de agua gracias a que proporciona la medición de los siguientes 3 parámetros: Temperatura, Oxígeno Disuelto y pH. Este kit posee conectividad inalámbrica para la transmisión de datos y además acceso a internet mediante un cable de red LAN, lo cual permite obtener las medidas en forma remota desde un navegador por medio de una computadora o un teléfono inteligente. H2OC es el complemento ideal para llevar un monitoreo y control constante del agua ya sea, en una piscina, acuario, tanque, etc.

Características

Alimentación: 5 – 12 Vdc

Corriente: 1 A máximo

Parámetros: Temperatura, Oxígeno Disuelto, pH.

Rango de Lecturas: Temperatura: -55 a 155 C

Oxígeno Disuelto: 0 a 20 mg/L

pH: 0 a 14

Distancia máxima entre RTU y MTU: 100 metros en exterior

20 metros en interior

Velocidad de transmisión: 250 Kbps máximo

Componentes

1 Sensor de Temperatura DS18B20 resistente al agua.

1 Sensor de Oxígeno Disuelto DFROBOT

1 Sensor de pH EC-201

1 Fuente de 12 Vdc

1 Dispositivo Terminal Remoto

1 Dispositivo Terminal Maestro

1 Cable Ethernet

2 Cable USB

Modo de empleo

1. Coloque el sensor deseado a respectivo conector, el cual posee una leyenda de identificación en la parte superior de cada conector.
2. Coloque el dispositivo terminal remoto en lugar seco y seguro.
3. Conecte el dispositivo terminal remoto con la fuente proporcionado a una toma de corriente o utilice el cable USB para administrar un voltaje adecuado desde alguna otra fuente de energía.
4. Introduzca el sensor en el agua donde desea medir el parámetro de interés.

Los pasos antes mencionados permiten observar los datos en la pantalla LCD presente en el dispositivo terminal remoto.

5. Coloque el dispositivo terminal maestro en un lugar cercano a un computador.
6. Conecte el dispositivo terminal maestro mediante el cable USB al computador y mediante el cable de Ethernet al router.
7. Abra el navegador, e ingrese la siguiente dirección: 192.168.0.225

Una vez concluidos todos los pasos podrá observar los datos en la pantalla de su computador y el dispositivo terminal remoto.

Recomendaciones

Los dispositivos terminal maestro y remoto deben conservarse e instalarse en lugares frescos y secos puesto que poseen componentes electrónicos.

Manipular cuidadosamente las sondas puesto que son dispositivos delicados y pueden estropearse repercutiendo al cambio del dispositivo.

Es recomendable realizar los mantenimientos respectivos de las sondas al menos una vez cada 5 meses, puestos que requieren una calibración dependiendo del tiempo de uso y las condiciones del agua donde estén realizando su operación.

Advertencia

En este manual se han omitido ciertas características por motivos de seguridad.

Anexo B

Kit para medición de Oxígeno Disuelto DFROBOT



Este producto es usado para medir el oxígeno disuelto dentro del agua, y reflejar la calidad de esta. Ideal para medir calidad del agua en acuicultura, larvicultura y estudio del medio ambiente. La sonda galvanizada, no necesita de tiempo de polarización y está disponible a tomar medidas en cualquier instante.

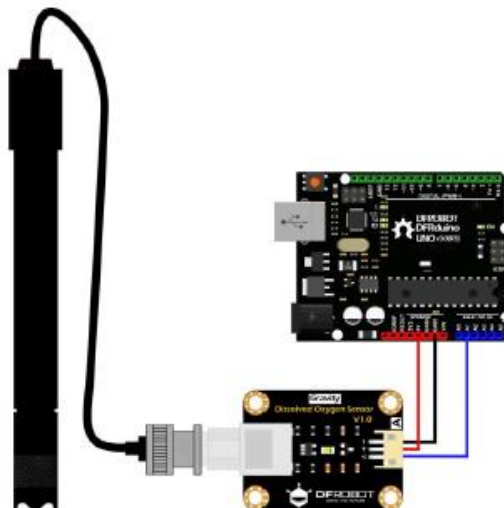


Diagrama de conexión para Arduino Uno

Especificaciones

Sonda de Oxígeno Disuelto

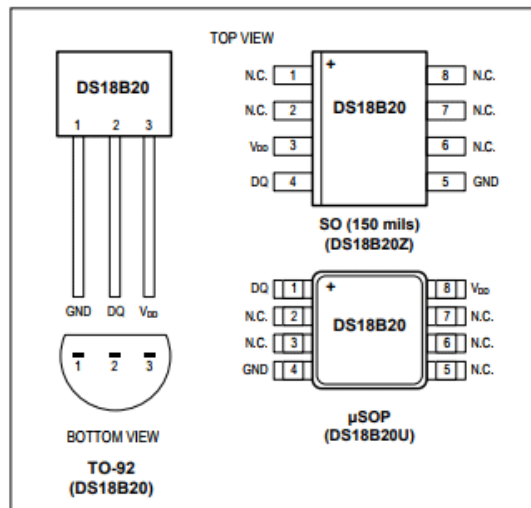
- Solución de llenado y tapa de membrana reemplazable, costo de mantenimiento bajo.
- Rango de detección: 0 – 20 mg/L
- Tiempo de respuesta: hasta 98% de respuesta completa, dentro de los 90 segundos (25 °C).
- Rango de presión: 0 – 50 PSI
- Tiempo de vida del electrodo: 1 año
- Periodo de Mantenimiento: Periodo de reemplazo de tapa de la membrana: 1 – 2 meses (agua fangosa); 4 – 5 meses (agua limpia), Periodo de reemplazo de Solución de llenado: Una vez cada mes.
- Longitud de Cable: 2 metros
- Voltaje de Operación: 3.3 – 5.5 Vdc
- Señal de Salida: 0 – 3.0 Vdc
- Conector de cable: BNC
- Conector de señal: Interfaz analógica de gravedad (PH2.0-3P)
- Dimensión 42mm * 32mm

Tarjeta Convertidora de Señal

- 5.5 Vdc Rango de fuente de alimentación, compatible con el microcontrolador Arduino UNO.
- 0 – 3.0 Vdc Salida analógica, compatible con todos los microcontroladores con función ADC.

Anexo C

Sensor de Temperatura Digital DS18B20



El sensor DS18B20 ofrece mediciones de temperatura de 9 a 12 bits, opera con protocolo de 1 cable y posee una memoria de 64 bits para la identificación única de cada sensor y otro tipo de memoria que almacena la temperatura obtenida. El sensor incorpora dos alarmas que se activan si la temperatura es mayor o menor que un umbral de temperatura máxima o mínima. En su versión resistente al agua dispone de tres cables, dos para alimentación y uno de datos.

Especificaciones

- Interfaz única de 1 cable requiere solo un pin de puerto para la comunicación
- Mide temperaturas de -55°C a + 125°C con $\pm 0.5^\circ\text{C}$ de precisión de -10°C a 85°C

Características Eléctricas DC			
-55C0 a +125C0; VDD=3.0V a 5.5V			
Parámetros	Símbolo	Mínimo	Máximo
Voltaje de alimentación	VDD	+3.0V	+5.5V
Voltaje de alimentación PU	VPU	+3.0V	+5.5V
Error	tERR		0.5C0
Entrada lógica bajo	VIL	-0.3V	+0.8V
Entrada lógica alto	VIH	+2.2V	+3.0V
Corriente de sumidero	IL	4.0mA	
Corriente de espera	IDDS		1.5mA
Corriente activa	IDD		5uA

Características eléctricas AC			
-55C0 a +125C0; VDD=3.0V a 5.5V			
Parámetros	Símbolo	Mínimo	Máximo
tiempo Pull-up encendido	tSPON		10us
Intervalo de tiempo	tSLOT	60us	120us
Tiempo de recuperación	tREC	1us	
Escritura tiempo bajo	tLOW0	60us	120us
Escritura tiempo alto	tLOW1	1us	15us
Lectura de Dato valido	tRDV		15us
Reinicio tiempo Alto	tRSTH	480us	
Reinicio tiempo Bajo	tRSTL	480us	
Capacitancia	CIN-OUT		25pF

Anexo D

Hoja de Datos para el Sensor de PH E-201-C



El módulo del sensor de pH consta de un sensor de pH también llamado como sonda de pH y una placa de acondicionamiento de señales que proporciona una salida que es proporcional al valor de pH y puede conectarse directamente a cualquier microcontrolador. Los componentes del sensor de pH generalmente se combinan en un dispositivo llamado electrodo de pH combinado. El electrodo de medición suele ser de vidrio y bastante frágil.

Especificaciones

Voltaje de alimentación de entrada: 5 VDC

Corriente de trabajo: 5 - 10Ma

Controlador Rango de concentración de detección: PH 0 – 14

Adecuado para la mayoría de los acuarios, hidropónicos, rango de detección de temperatura: 0 - 80 ° C

Laboratorio, etc. Tiempo de respuesta: 5S

Tiempo de estabilidad: 60S

Salida: analógica

Consumo de energía: 0.5W

Temperatura de trabajo: -10 a +50 grados C

Humedad de trabajo: 95% HR (humedad nominal 650 / 0RH)

Peso: 25g

Dimensión de PCB: 42 mm x 32 mm x 20 mm

Anexo E

Digi Xbee S2C



Los módulos Digi XBee RF son ideales para aplicaciones dinámicas que requieren baja latencia y tiempo de comunicación predecible en las bandas de 2.4 GHz y 900 MHz. Los productos Digi XBee 802.15.4, que proporcionan una comunicación rápida y robusta en configuraciones punto a punto, punto a multipunto / estrella, permiten una robusta conectividad con facilidad.

Especificaciones

Rango en Interiores	Hasta 200 ft (60m)
Rango en exteriores	Hasta 4000 ft (1200m)
Salida de Potencia de transmisión	3.1 mW - 6.3 mW
Tasa de transmisión RF	250 Kbps
Sensibilidad el Receptor	-102 dBm a -100 dBm
Voltaje de alimentación	2.1 - 3.6 V
Corriente del Transmisor	33 mA - 45 mA
Corriente del Receptor	28 mA - 31 mA
Corriente de Apagado	<1 uA
Frecuencia	ISM 2.4GHz

ANEXO F

Código Fuente para Arduino en la MTU

```
/*  
  
*** ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ***  
*** PROYECTOR INTEGRADOR ***  
*** CÓDIGO MTU ***  
  
*** Autor: Roberto Franco ***  
  
*/  
  
// Declaración de Librerías a utilizar  
#include <Ethernet.h>  
#include <SPI.h>  
#include <UbidotsEthernet.h>  
  
#define TOKEN "A1E-tNrJTuOPb4PXFmj7DFKEE4od5K3LXQ" // Token de Identificación  
para Ubidots  
  
// Declaración de Variables para Ubidots  
#define ID1 "Oxigeno_Disuelto" // Oxígeno Disuelto  
#define ID2 "Temperatura" // Temperatura  
#define ID3 "pH" // pH  
  
// Dirección MAC del arduino  
byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };  
// Dirección IP del proveedor DNS  
IPAddress dnServer(192, 168, 1, 1);  
// Dirección IP del router  
IPAddress gateway(192, 168, 1, 1);  
// Dirección de la Mascara de Subred:  
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);  
// Dirección IP del Arduino  
IPAddress ip(192, 168, 1, 225);  
  
Ubidots client(TOKEN); // Envío de Identificación al servidor Ubidots
```

```

// Variables de los parámetros
float OD=0;
float Temperatura=0;
float PH=0;

// Programa Principal
void setup(){
  Serial.begin(9600); // Inicializacion del puerto serial
  Ethernet.begin(mac, ip, dnServer, gateway, subnet); // Inicializacion de la shield de Ethernet
  delay(1000); // Tiempo de respuesta de shield Ethernet
}
void loop(){
  Recepcion_Datos(); // Llamada a funcion que recibe los datos de la RTU
  httpRequest(OD,Temperatura,PH); // Envia Datos al servidor
}
// Fin de Programa Principal

// Función para envio de datos a Ubidots
void httpRequest(float O, float T, float P) {
  client.add(ID1, O);
  client.add(ID2, T);
  client.add(ID3, P);
  client.sendAll();
}

// Función para recibir datos de la RTU
void Recepcion_Datos(){
  char cadena = " "; // Cadena para almacenar los datos
  while(Serial.available()==0){} // Espera a que se terminen de recibir los datos
  cadena=Serial.read(); // Lee los datos y los almacena
  if(cadena!='*') return; // Continua solo si, recibe el caracter de inicio de trama
  //Lectura de Datos
  OD=Serial.parseFloat(); // Obtiene dato de oxígeno disuelto
  Temperatura=Serial.parseFloat(); // Obtiene datos de temperatura
  PH=Serial.parseFloat(); // Obtiene datos de PH
}

```


ANEXO G

Código Fuente para Arduino en la RTU

```
/*
*** ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL ***
*** PROYECTO INTEGRADOR ***
*** CÓDIGO RTU ***

*** Autor: Roberto Franco ***
*** Referencias: www.dfrobot.com ***
*/

/*Librerías*/
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Wire.h>
#include <avr/pgmspace.h>
#include <EEPROM.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F,16,2); // declaración de dirección, columnas y filas de LCD

/*Declaracion de Variables y Constantes*/

int Pin_PH = 0; // Pin para sensor de PH
int PH_Datos[10],PH_Temp;

const int Pin_Temp=10; // D2
OneWire oneWireObjeto(Pin_Temp);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);

// Variables, constantes y librerías para OD

#define Pin_OD A1 // Pin para el sensor de OD
#define VREF 5000 // Voltaje máximo de arduino Uno
float DO_Valor; // Valor de oxígeno disuelto en mg/L
```

```
float temperature = 21; // Temperatura por default para calibración de sensor de OD
```

```
#define EEPROM_write(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++)  
EEPROM.write(address+i, pp[i]);}
```

```
#define EEPROM_read(address, p) {int i = 0; byte *pp = (byte*)&(p);for(; i < sizeof(p); i++)  
pp[i]=EEPROM.read(address+i);}
```

```
#define ReceivedBufferLength 20
```

```
char receivedBuffer[ReceivedBufferLength+1]; // store the serial command
```

```
byte receivedBufferIndex = 0;
```

```
#define SCOUNT 30 // Cantidad de muestras de OD
```

```
int analogBuffer[SCOUNT]; // Arreglo para almacenar los valores analógicos de OD
```

```
int analogBufferTemp[SCOUNT];
```

```
int analogBufferIndex = 0,copyIndex = 0;
```

```
// Direccion del voltaje de saturacion almacenado en la EEPROM
```

```
#define SaturationDoVoltageAddress 12
```

```
// Direccion de la temperatura de saturacion almacenada en la EEPROM
```

```
#define SaturationDoTemperatureAddress 16
```

```
float SaturationDoVoltage,SaturationDoTemperature;
```

```
float averageVoltage;
```

```
//Concentración de Oxígeno Disuelto a diferentes temperaturas
```

```
const float SaturationValueTab[41] PROGMEM = {
```

```
14.46, 14.22, 13.82, 13.44, 13.09,
```

```
12.74, 12.42, 12.11, 11.81, 11.53,
```

```
11.26, 11.01, 10.77, 10.53, 10.30,
```

```
10.08, 9.86, 9.66, 9.46, 9.27,
```

```
9.08, 8.90, 8.73, 8.57, 8.41,
```

```
8.25, 8.11, 7.96, 7.82, 7.69,
```

```
7.56, 7.43, 7.30, 7.18, 7.07,
```

```
6.95, 6.84, 6.73, 6.63, 6.53,
```

```
6.41,
```

```
};
```

```

// Variables Globales de Datos
float PH=0; // Almacena valor de PH
float Temperatura=0; // Almacena valor de Temp.
float OD=0; // Almacena valor de Oxígeno Disuelto
float TON=28.0; // Temperatura de encendido
float TOFF=33.0; // Temperatura de apagado
int a; // bandera de estado anterior de temperatura
const int Pin_Rele=5; // Pin para salida al Pin_Rele
const int Pin_Led=13;
unsigned long t_antes;
unsigned long t_despues;
unsigned long t_control;

// Programa Principal
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Inicio de comunicación serie
  sensorDS18B20.begin(); // Inicio de sensor de temperatura
  LCD_Inicio(); // Presenta mensaje inicial
  pinMode(Pin_Rele,OUTPUT);
  //pinMode(Pin_Fuente,OUTPUT);
  pinMode(Pin_Led,OUTPUT);
  pinMode(Pin_OD,INPUT);
  //pinMode(Pin_Temp,INPUT);
  //pinMode(Pin_Boton,INPUT);
  //digitalWrite(Pin_Fuente,HIGH);
  readDoCharacteristicValues(); // Lectura de los valores característicos de OD en la EEPROM
}

void loop() {
  PH=PH_Funcion();
  OD=OD_Funcion();
  Temperatura=TEMP_Funcion();
  Control(Temperatura);
  Enviar_Datos(OD,Temperatura,PH);
  Mostrar_Datos(OD,Temperatura,PH);
  delay(30000);
}

```

```

    }
// Fin de Programa Principal

// Función para obtener valor PH.
float PH_Funcion(){
    for(int i=0;i<10;i++)
    {
        PH_Datos[i]=analogRead(Pin_PH);
        delay(10);
    }
    for(int i=0;i<9;i++)
    {
        for(int j=i+1;j<10;j++)
        {
            if(PH_Datos[i]>PH_Datos[j])
            {
                PH_Temp=PH_Datos[i];
                PH_Datos[i]=PH_Datos[j];
                PH_Datos[j]=PH_Temp;
            }
        }
    }
    float PH_Avg=0;
    for(int i=0;i<10;i++)
    PH_Avg+=PH_Datos[i];
    PH_Avg=PH_Avg/10;
    float PH_Vol=(PH_Avg*5.0/1024)-0.20;
    float PH_Valor = -(9.53)*(PH_Vol) + 30.31;
    if (PH_Valor>=14){
        PH_Valor=14;
    }
    else if (PH_Valor<=0){
        PH_Valor=0;
    }
    return(PH_Valor);

```

```

delay(20);
}

float TEMP_Funcion(){
    sensorDS18B20.requestTemperatures(); // Comando para solicitar datos al sensor
    float TEMP_Valor = sensorDS18B20.getTempCByIndex(0);
    return(TEMP_Valor);
    delay(750); // Tiempo de respuesta del sensor = 750 ms
}

// Función para enviar los datos mediante Xbee-Ruteador
void Enviar_Datos(float O, float T, float P){
    Serial.flush();
    Serial.print("*"); // Caracter de inicio de trama
    Serial.print("|"); // Caracter separador de datos
    Serial.print(O); // Dato de Oxígeno Disuelto
    Serial.print("|");
    Serial.print(T); // Dato de Temperatura
    Serial.print("|");
    Serial.print(P); // Dato de PH
    Serial.print("|");
    Serial.println("#"); // Caracter de fin de trama
}

// Funcion para mostrar los datos en la LCD
void Mostrar_Datos(float O, float T, float P){
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("O:");
    lcd.print(O, 1);
    lcd.print("mg/L");
    lcd.setCursor(10,0);
    lcd.print("PH:");
    lcd.print(P, 1);
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print("TEMP:");

```

```
lcd.print(T,1);  
lcd.print(" C");  
}
```

```
// Funcion de Control para encendido de electrovalvula
```

```
void Control(float T){  
  if(T>=TON && T<=TOFF && a==1){  
    digitalWrite(Pin_Rele,LOW);  
    digitalWrite(Pin_Led,LOW);  
  }  
  else if(T>=TON && T<=TOFF && a==0){  
    digitalWrite(Pin_Rele,HIGH);  
    digitalWrite(Pin_Led,LOW);  
  }  
  else if( T < TON ){  
    digitalWrite(Pin_Rele,LOW);  
    digitalWrite(Pin_Led,HIGH);  
    a=1;  
  }  
  else if(T>TOFF){  
    digitalWrite(Pin_Rele,HIGH);  
    digitalWrite(Pin_Led,HIGH);  
    a=0;  
  }  
}
```

```
void LCD_Inicio(){  
  lcd.init(); // Inicializar el LCD  
  lcd.backlight(); //Encender la luz de fondo.  
  lcd.clear();  
  lcd.setCursor(6,0);  
  lcd.print("ESPOL");  
  lcd.setCursor(0,1);  
  lcd.print("CALIDAD DE AGUA");  
  delay(2500);  
  lcd.clear();
```

```
lcd.setCursor(2,0);  
lcd.print("***LARVITEC***");  
delay(2500);  
lcd.clear();  
}
```

```
int getMedianNum(int bArray[], int iFilterLen)  
{  
    int bTab[iFilterLen];  
    for (byte i = 0; i<iFilterLen; i++)  
    {  
        bTab[i] = bArray[i];  
    }  
    int i, j, bTemp;  
    for (j = 0; j < iFilterLen - 1; j++)  
    {  
        for (i = 0; i < iFilterLen - j - 1; i++)  
        {  
            if (bTab[i] > bTab[i + 1])  
            {  
                bTemp = bTab[i];  
                bTab[i] = bTab[i + 1];  
                bTab[i + 1] = bTemp;  
            }  
        }  
    }  
    if ((iFilterLen & 1) > 0)  
        bTemp = bTab[(iFilterLen - 1) / 2];  
    else  
        bTemp = (bTab[iFilterLen / 2] + bTab[iFilterLen / 2 - 1]) / 2;  
    return bTemp;  
}
```

```
void readDoCharacteristicValues(void)  
{
```

```

EEPROM_read(SaturationDoVoltageAddress, SaturationDoVoltage);
EEPROM_read(SaturationDoTemperatureAddress, SaturationDoTemperature);
if(EEPROM.read(SaturationDoVoltageAddress)==0xFF                                &&
EEPROM.read(SaturationDoVoltageAddress+1)==0xFF                                &&
EEPROM.read(SaturationDoVoltageAddress+2)==0xFF                                &&
EEPROM.read(SaturationDoVoltageAddress+3)==0xFF)
{
    SaturationDoVoltage = 1127.6; //default voltage:1127.6mv
    EEPROM_write(SaturationDoVoltageAddress, SaturationDoVoltage);
}
if(EEPROM.read(SaturationDoTemperatureAddress)==0xFF                            &&
EEPROM.read(SaturationDoTemperatureAddress+1)==0xFF                            &&
EEPROM.read(SaturationDoTemperatureAddress+2)==0xFF                            &&
EEPROM.read(SaturationDoTemperatureAddress+3)==0xFF)
{
    SaturationDoTemperature = 25.0; //default temperature is 25^C
    EEPROM_write(SaturationDoTemperatureAddress, SaturationDoTemperature);
}
}

float OD_Funcion(){
    static unsigned long analogSampleTimepoint = millis();
    if(millis()-analogSampleTimepoint > 30U) //every 30 milliseconds,read the analog value
from the ADC
    {
        analogSampleTimepoint = millis();
        analogBuffer[analogBufferIndex] = analogRead(Pin_OD); //read the analog value and
store into the buffer
        analogBufferIndex++;
        if(analogBufferIndex == SCOUNT)
            analogBufferIndex = 0;
    }

    static unsigned long tempSampleTimepoint = millis();
    if(millis()-tempSampleTimepoint > 500U) // every 500 milliseconds, read the temperature
    {

```



```

    tempSampleTimepoint = millis();
//    temperature = T; // add your temperature codes here to read the temperature, unit: ^C
}

static unsigned long printTimepoint = millis();
if(millis()-printTimepoint > 1000U)
{
    printTimepoint = millis();
    for(copyIndex=0;copyIndex<SCOUNT;copyIndex++)
    {
        analogBufferTemp[copyIndex]= analogBuffer[copyIndex];
    }
    averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp,SCOUNT) * (float)VREF / 1024.0; //
    read the value more stable by the median filtering algorithm
    DO_Valor = pgm_read_float_near( &SaturationValueTab[0] +
(int)(SaturationDoTemperature+0.5) ) * averageVoltage / SaturationDoVoltage; //calculate the
do value, DO_Valor = Voltage / SaturationDoVoltage * SaturationDO_Valor(with temperature
compensation)
}
return (DO_Valor);
}

```