

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA
APLICACIONES EN ACUACULTURA

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
MAESTRO EN INGENIERÍA

presenta:

ANDRÉS NAVARRO RODRÍGUEZ

Director de tesis

Dr. Enrique Efrén García Guerrero

Ensenada, Baja California, México. Noviembre de 2015.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

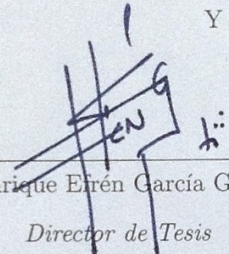
INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA
APLICACIONES EN ACUACULTURA

TESIS

que para obtener el grado de MAESTRO en INGENIERÍA presenta:

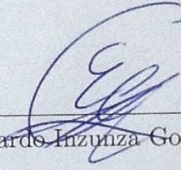
ANDRÉS NAVARRO RODRÍGUEZ

Y aprobada por el siguiente comité:



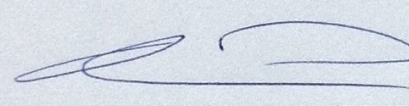
Dr. Enrique Eirén García Guerrero

Director de Tesis



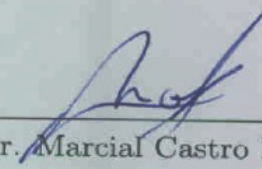
Dr. Everardo Inzunza González

Co-Director de Tesis



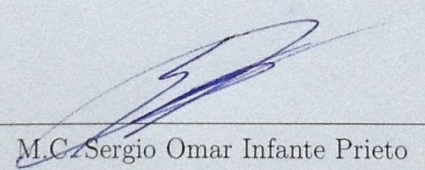
Dr. Oscar Roberto López Bonilla

Miembro del Comité



Dr. Marcial Castro Muñoz

Miembro de Comité



M.C. Sergio Omar Infante Prieto

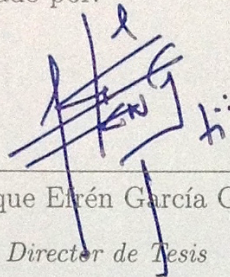
Miembro del Comité

Noviembre de 2015

RESUMEN de la tesis de **Andrés Navarro Rodríguez**, presentada como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA, del programa de Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería de la UABC. Ensenada, B. C. México, Noviembre de 2015.

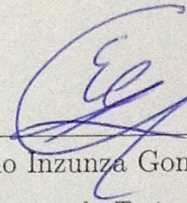
INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA PARA APLICACIONES EN ACUACULTURA

Resumen aprobado por:



Dr. Enrique Efrén García Guerrero

Director de Tesis



Dr. Everardo Inzunza González

Co-director de Tesis

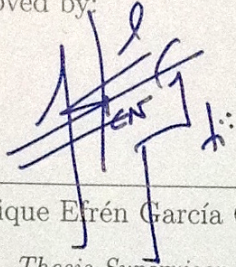
En este trabajo de tesis se presenta el diseño, desarrollo e implementación de un sistema electrónico de monitoreo multiparámetro de variables físico-químicas de aplicación en acuicultura. El sistema está dotado de un teclado matricial como medio de acceso para fines de configuración, y consta de módulos de comunicación inalámbrica *XBee* para la transmisión de datos hacia una PC donde se visualizan de forma gráfica o se almacenan de forma remota y en tiempo real. Parte de la novedad que presenta el sistema electrónico desarrollado, es el monitoreo preventivo que ofrece vía mensajes de texto a teléfonos celulares a partir de módulos de comunicación *GSM*. El sistema desarrollado se valida experimentalmente en el entorno real de operación de la empresa Productos Oceánica, dando soluciones tecnológicas de monitoreo en etapas específicas del cultivo de la almeja del género *Panopea generosa* (almeja generosa). Como parte complementaria a este trabajo de tesis, se presenta el diseño de un contador de peces con base en sensores infrarrojos, dotado con tecnología "touch" y comunicación inalámbrica con una PC.

Palabras clave: Instrumentación electrónica, monitoreo remoto, sensores marinos, acuicultura, comunicación inalámbrica, sistema de monitoreo acuícola.

ABSTRACT of the thesis of **ANDRÉS NAVARRO RODRÍGUEZ**, presented as a partial requirement to obtain the degree of **MASTER** in **ENGINEERING**, of the program of **MSc** and **PhD** in **Sciences and Engineering** of **UABC**. Ensenada, B. C., Mexico, November 2015.

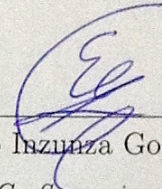
ELECTRONIC INSTRUMENTATION FOR APPLICATIONS IN AQUACULTURE

Abstract approved by:



Dr. Enrique Efrén García Guerrero

Thesis Supervisor



Dr. Everardo Inzunza González

Thesis Co-Supervisor

This thesis presents the design, development and implementation of an electronic multiparameter monitoring system of physico-chemical parameters applied in aquaculture. The system is equipped with a matrix keyboard as an entry point for configuration purposes and it consists of XBee wireless communication modules for the transmission of data to a PC where they are displayed graphically or stored remotely in real time. Part of the originality of the electronic system developed is the system that offers preventive monitoring via text messages to cell phone from GSM communication modules. The system developed is experimentally validated in the actual operating environment of the company Productos Oceánica, providing technological solutions in specific stages of monitoring clam culture kind Panopea (geoduck). As a complement to this thesis, it presents the design of a fish counter based on infrared sensors, equipped with touch technology and wireless communication with a PC.

Keywords: Electronic instrumentation, remote monitoring, marine sensors, aquaculture, wireless communication, aquaculture system monitoring.

A mi familia

Agradecimientos

Al Dr. Enrique Efrén García Guerrero, por haberme apoyado a lo largo del presente trabajo de tesis de maestría, por su amistad, atención y buenos consejos que me ha brindado.

Al Dr. Everardo Inzunza González, por su gran amistad y todo el apoyo que me ha dado para poder culminar mis estudios de posgrado.

Al Dr. Oscar Roberto López Bonilla, Dr. Marcial Castro Muñoz, M.C. Sergio Omar Infante Prieto, un especial agradecimiento por sus oportunos comentarios en las presentaciones y revisiones del presente trabajo de tesis.

A mis padres Andrés Navarro Pérez y Jennifer Solórzano Pérez, por ser un ejemplo de vida para mí y apoyarme en cada paso que doy. Los quiero mucho!

A mis hermanas Lorena Navarro y Jennifer Navarro, por ser una parte fundamental en mi vida. Las quiero hermanas!

A mi amigos César Liera Grijalva y Ricardo Cuesta García, por ofrecerme su amistad y apoyo en los buenos y malos momentos de toda mi formación profesional.

A mis compañeros de posgrado Eduardo Rodríguez Orozco y Juan Miguel Hernández Ontiveros, por brindarme su amistad y compartir sus experiencias en estos años de estudio.

Al CONACyT, por apoyarme financieramente en mis estudios de maestría.

A nuestra alma mater: Universidad Autónoma de Baja California, que tanto me ha dado académicamente y profesionalmente.

A la empresa Productos Oceánica, por permitirme probar los instrumentos desarrollados en este trabajo de tesis.

A todas las personas que de alguna u otra manera estuvieron involucradas conmigo a lo largo de mis estudios de maestría.

Ensenada, B. C. México.
de Noviembre de 2015.

ANDRÉS NAVARRO RODRÍGUEZ

Tabla de Contenido

	Página
Tabla de Contenido	i
Resumen	iii
Abstract	iv
Agradecimientos	vi
Lista de figuras	x
Lista de tablas	xiii
I Introducción	1
I.1 Motivación	2
I.2 Planteamiento del problema	3
I.2.1 Descripción del problema	3
I.2.2 Metodología	4
I.3 Objetivos del trabajo de tesis	7
I.3.1 Objetivo General	7
I.3.2 Objetivos específicos	7
I.4 Organización del manuscrito	7
II Marco Teórico	9
II.1 La acuicultura	9
II.1.1 Orígenes de la acuicultura	9
II.1.2 Estado actual de la acuicultura	10
II.1.3 Tipos de cultivos acuícolas	12
II.2 Principales variables a monitorear en procesos de acuicultura	15
II.2.1 Temperatura (T)	16
II.2.2 Oxígeno disuelto (DO)	17
II.2.3 Potencial de hidrógeno (pH)	18
II.2.4 Salinidad (S)	18
II.2.5 Conductividad eléctrica (EC)	19
II.2.6 Total de sólidos disueltos (TDS)	19
II.2.7 Nivel de líquido en estanques de abastecimiento y cultivo	20
II.3 Instrumentación electrónica	20
II.3.1 Instrumentos y sistemas de monitoreo	21
II.4 Resumen	28
III Desarrollo del sistema de monitoreo multiparámetro	30
III.1 Descripción general	30
III.2 Microcontrolador ATmega2560	32
III.3 Sensores y acondicionamiento de señal	35
III.3.1 Sensor de temperatura	35
III.3.2 Sensor de pH	42

Tabla de Contenido (Continuación)

	Página
III.3.3	Sensor de oxígeno disuelto 48
III.3.4	Sensor de conductividad eléctrica (EC), salinidad (S) y total de sólidos disueltos (TDS). 52
III.3.5	Sensor de humedad relativa DHT22 58
III.3.6	Sensor ultrasónico HC-SR04 60
III.4	Pantalla LCD 20×4 62
III.5	Teclado matricial 4×4 63
III.6	Alertas preventivas 65
III.6.1	LED RGB 65
III.6.2	Mensajes de texto a celular 67
III.7	Resumen 70
IV	Comunicación inalámbrica e interfaz gráfica 72
IV.1	Módulos de comunicación inalámbrica XBee 73
IV.1.1	Subrutina de envío de datos 78
IV.2	Interfaz gráfica con el usuario 80
IV.2.1	Interfaz gráfica desarrollada 80
IV.3	Resumen 83
V	Contador optoelectrónico de peces 84
V.1	Descripción general del sistema propuesto 85
V.2	Arreglo optoelectrónico 86
V.3	Pantalla táctil ILI9341 90
V.4	Comunicación inalámbrica del contador de peces 91
V.5	Programa principal en el microcontrolador 92
V.6	Interfaz gráfica de la computadora remota 94
V.7	Sistema integrado 96
V.8	Resumen 97
VI	Resultados 99
VI.1	Instrumentos de monitoreo desarrollados 99
VI.1.1	Medidor de temperatura y pH 99
VI.1.2	Medidor de temperatura y oxígeno disuelto 104
VI.1.3	Medidor de humedad relativa 107
VI.1.4	Medidor de nivel de líquido 107
VI.1.5	Medidor multiparámetro 110
VI.2	Mediciones remotas de temperatura y pH 110
VI.3	Resumen 114
VII	Resumen y conclusiones 116
VII.1	Trabajos a futuro 117
Bibliografía	119

Tabla de Contenido (Continuación)

	Página
A Reporte técnico: Instrumentos de medición de pH, temperatura y amoniaco para aplicaciones de acuacultura desarrollados para la empresa Productos Oceánica	122
B Manual de usuario: Instrumento de medición de pH y temperatura	123
C Manual de usuario: Instrumento de medición de pH, temperatura y amoniaco	124
D Producción académica derivada del trabajo de tesis de maestría	125

Lista de figuras

Figura		Página
1	Formato de control de parámetros físico-químicos en agua de mar (con autorización de reproducción: Grupo Marítimo Miramar)	5
2	Producción acuícola por continente (FAO, 2012).	13
3	Los diez principales productores acuícolas de América (FAO, 2012). . .	14
4	Termómetro digital.	22
5	pH-metro.	23
6	Oxímetro.	25
7	Conductímetro.	26
8	Medición del nivel de líquido en estanque por medio de sensor ultrasónico.	27
9	sistema de monitoreo y control multiparámetro YSI 5200A	28
10	Diagrama a bloques del sistema de monitoreo multiparámetro.	33
11	Microcontrolador ATmega2560.	34
12	Símbolo del termistor.	36
13	Termistor NTC de 100 Ohms.	36
14	Curva característica del termistor NTC (Steinhart y Hart, 1968).	37
15	Curva de calibración del termistor NTC de 100 Ohms.	39
16	Circuito acondicionador de señal del termistor.	40
17	Sensor de pH de Atlas Scientific TM	42
18	Relación entre potencial del sensor y el pH a 25°C (Orna y Stock, 1989)	44
19	Módulo de acondicionamiento de señal de pH.	45
20	Soluciones de calibración de pH 4, 7 y 10 respectivamente.	45
21	Sensor de oxígeno disuelto de Atlas Scientific TM	48
22	Módulo de acondicionamiento de señal de oxígeno disuelto.	49
23	Sensor de EC, salinidad y TDS de Atlas Scientific TM	52
24	Módulo de acondicionamiento de señal de EC, salinidad y TDS.	54
25	Soluciones de EC de 12,880 y 150,00 μS	55
26	Sensor de humedad relativa DHT22.	58
27	Sensor ultrasónico HC-SR04.	60
28	Pantalla LCD 20×4.	62
29	Teclado matricial de 4x4.	64
30	LED RGB.	66
31	Relación del color del LED RGB respecto al estado del proceso.	66
32	Ejemplos de mensajes de texto enviados a teléfonos celulares.	68
33	Módulo GSM.	69
34	Conexión típica usando módulos XBee (Oyarce, 2010).	75
35	XBee PRO S1.	75
36	Diagrama de conexión básica del XBee PRO S1.	76

Lista de figuras (Continuación)

Figura		Página
37	Adaptador para XBee PRO S1 con Arduino mega 2560.	78
38	Dongle para XBee PRO S1.	79
39	Interfaz gráfica en una PC remota.	81
40	Archivo de texto generado por la interfaz gráfica.	82
41	Diagrama a bloques de la operatividad de la parte electrónica del sistema contador de peces.	87
42	Led infrarrojo IR383.	87
43	Fototransistor PT1302B/C2.	88
44	Ducto de sección transversal circular con un sistema optoelectrónico integrado.	89
45	Circuito optoelectrónico de sensores infrarrojos y acondicionamiento de señal.	90
46	Pantalla táctil tipo resistiva ILI9341.	91
47	Diagrama de flujo del programa principal en el microcontrolador.	93
48	Diagrama a bloques de la comunicación serial entre XBee y PC.	95
49	Panel frontal de la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.	96
50	Sistema contador de peces integrado.	97
51	Prototipo del medidor de pH y temperatura instalado en la empresa Productos Oceánica.	100
52	Medidor de pH y temperatura.	101
53	Comparación de mediciones de pH entre el dispositivo multiparámetro y un pH-metro comercial.	102
54	Membrana del sensor de pH con sedimento de comida y desechos de almeja generosa.	103
55	Sensor de temperatura y pH con sedimentos.	103
56	Limpieza del sensor de pH y sensor de temperatura con agua destilada.	104
57	Tinas de cultivo de almeja generosa (con autorización de la empresa Productos Oceánica).	105
58	Cultivo de almeja generosa, a dos meses de crecimiento (con autorización de la empresa Productos Oceánica).	106
59	Pilas de almacenamiento de langosta roja.	106
60	Instrumento de medición de pH.	107
61	Estanque de cultivo de totoaba.	108
62	Prototipo del medidor de temperatura y oxígeno instalado en la UBP de la UABC.	108
63	Comparación de lecturas de oxígeno disuelto y temperatura en la UBP.	109
64	Medidor de temperatura y oxígeno disuelto.	109

Lista de figuras (Continuación)

Figura		Página
65	Medidor de humedad relativa y temperatura.	110
66	Maqueta del medidor de nivel de líquido.	111
67	Medidor de nivel de líquido.	111
68	Instrumento de monitoreo multiparámetro.	112
69	Gráfica de temperatura durante 4 meses.	113
70	Gráfica de pH durante 4 meses.	113

Lista de tablas

Tabla		Página
I	Rangos de temperatura para agua fría, agua fresca y agua caliente (Swann, 1997).	16
II	Características del microcontrolador ATmega2560.	34
III	Características del termistor NTC de 100 Ω	37
IV	Valores de resistencia con respecto a la temperatura.	38
V	Características del sensor electroquímico de pH.	42
VI	Características del módulo de acondicionamiento de señal de pH.	45
VII	Características del sensor electroquímico de oxígeno disuelto.	48
VIII	Características del módulo de acondicionamiento de señal de pH.	50
IX	Características técnicas del sensor electroquímico de EC, salinidad y TDS.	52
X	Características técnicas del módulo de acondicionamiento de señal de EC, salinidad y TDS.	55
XI	Características técnicas del sensor de humedad relativa DHT22.	59
XII	Características técnicas del sensor ultrasónico HC-SR04.	60
XIII	Características técnicas del módulo GSM/GRPS.	69
XIV	Características del módulo XBee PRO S1.	74
XV	Características del led infrarrojo IR383.	86
XVI	Características del fototransistor PT1302B/C2.	88
XVII	Características de la pantalla táctil.	91
XVIII	Especificaciones técnicas del instrumento.	115

Capítulo I

Introducción

El presente trabajo de tesis de maestría, está enfocado al desarrollo de instrumentos electrónicos de medición de variables físico-químicas para coadyuvar a la solución de problemas de monitorización de la empresa Productos Oceánica, donde se cultiva la almeja del género *Panopea generosa* (almeja generosa) y se almacena con fines de exportación langosta roja (*Panulirus interruptus*). Los parámetros que se miden son: *temperatura, potencial de hidrógeno (pH), oxígeno, salinidad, conductividad eléctrica (EC), total de sólidos disueltos (TDS), humedad relativa y nivel de líquido en estanques de abastecimiento y cultivo*. En relación a la importancia de las variables por monitorear en la empresa Productos Oceánica, se desarrollaron los siguientes instrumentos:

- Medidor de temperatura y oxígeno disuelto.
- Medidor de temperatura y pH.
- Medidor de temperatura, pH, oxígeno, salinidad, conductividad, salinidad, total de sólidos disueltos y humedad relativa (multiparámetro).
- Medidor de nivel de líquido en estanques de abastecimiento.
- Diseño de contador optoelectrónico de peces.

Cada instrumento incluye una pantalla LCD (Liquid Crystal Display) para visualizar las mediciones *in situ*, un módulo de transmisión inalámbrica de datos para enviar las mediciones hacia una computadora remota y sólo algunos instrumentos contienen un módulo GSM (Global System for Mobile Communications) para enviar mensajes de

texto a celular cuando una variable sale de su rango de operación.

Adicionalmente, se desarrolla un interfaz gráfica en una computadora remota donde se despliegan las gráficas individuales de cada parámetro, y al mismo tiempo se almacenan los datos en un archivo de texto (*.txt) etiquetado con fecha y hora de medición.

Finalmente, se presenta el diseño de un contador optoelectrónico de peces.

I.1 Motivación

La acuicultura tiene una gran importancia en el comercio actual aportando cerca de la tercera parte de la producción pesquera mundial, este sector ha tenido un rápido crecimiento desde finales de la década de los 80's (Boyd, 2003). En el caso de muchas especies marinas, su producción a partir de su cultivo con técnicas de acuicultura, casi han sustituido por completo las capturas pesqueras. Tras un proceso controlado de cultivo, crecimiento y engorde, algunas especies son muy apreciadas en el mercado internacional.

En la acuicultura, el monitoreo del estado que guarda el agua es de suma importancia, ya que el agua es para las especies que se cultivan lo que el aire es para los humanos. El agua es el entorno desde el cual obtienen el oxígeno para respirar y la vía por la que ingresa su alimento, sin embargo es también el receptor de sus propios desechos metabólicos.

Para que el cultivo de una especie marina sea óptimo, es necesario un suministro adecuado de alimento y que las condiciones de su entorno sean óptimas. Bajo esta perspectiva algunas de las variables más importantes a monitorear son: el oxígeno disuelto, temperatura, pH, amoníaco, ozono, entre otros (Culberson y Piedrahita, 1996). En un proceso de cultivo acuícola lo ideal es disponer con un sistema de monitoreo y control para la adecuada toma de decisiones.

En la actualidad la instrumentación electrónica juega un papel fundamental en muchas áreas, no siendo la excepción en la acuicultura. Para propiciar un ambiente controlado en los estanques de cultivo, es necesario la medición de las variables físico-químicas inherentes al medio (agua). Es aquí donde aplica la implementación de sensores electrónicos, los cuales son la parte medular para el monitoreo y el control de las variables del cultivo (Chemane *et al.*, 1997). Cabe destacar que la implementación de sistemas electrónicos impacta de manera notable en el desarrollo de las especies marinas que se cultivan, debido al monitoreo en tiempo real y a la exactitud con la que se puede trabajar. Adicionalmente, disminuye el riesgo de un accidente de trabajo puesto que no es necesario que se encuentre un técnico monitoreando el proceso directamente en los estanques, ya que se puede acceder a los datos de manera remota y segura a través de sistemas de comunicación inalámbrica y el internet.

Una razón importante para la realización de este trabajo de tesis, es la cantidad considerable de empresas dedicadas a la acuicultura en esta región (Ensenada B.C. México). Debido a que no existen muchas empresas nacionales que desarrollen sistemas para el monitoreo de la calidad del agua, resulta factible contribuir a la solución de problemas de monitorización y control a partir del desarrollo de sistemas electrónicos apegados a necesidades de tecnificación en procesos de cultivo.

I.2 Planteamiento del problema

I.2.1 Descripción del problema

Recientemente la empresa Productos Oceánica, ha manifestado y planteado varias necesidades de instrumentación electrónica apegadas a sus requerimientos actuales de producción. Su interés es lograr un monitoreo más oportuno de las variables físico-químicas críticas motivando el crecimiento óptimo de las especies marinas que cultivan. Adicionalmente, con la ayuda de alertas a teléfonos celulares activadas cuando algún

parámetro (variable) se sale de su intervalo normal de operación, y poder tomar las acciones correctivas oportunamente.

Actualmente en la empresa, la práctica común para el levantamiento de los datos de las variables de sus procesos, son registradas en una bitácora de manera manual, lo que ha provocado algunos errores en la toma de las mediciones, y se hace exhaustivo el seguimiento apropiado del comportamiento de dichas variables. En la figura 1, se muestra un formato de control de parámetros físico-químicos en agua de mar que utiliza el Grupo Marítimo Miramar, al cual pertenece la empresa Productos Oceánica. En la figura 1 se pueden observar los parámetros para distintos estanques y que corresponden a: oxígeno disuelto en partes por millón (ppm), temperatura en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), pH, porcentaje de salinidad, porcentaje de amonio des-ionizado (NH_3) y porcentaje de amonio ionizado (NH_4).

Adicionalmente la empresa tiene una gran dependencia tecnológica de instrumentos fabricados en el extranjero de muy elevado costo, esto les limita las posibilidades de crecimiento en tecnología propia y por ende, el crecimiento de sus procesos de acuicultura. Bajo esta perspectiva, en este trabajo de tesis se presenta el desarrollo de instrumentos de medición y monitoreo con tecnología propia a fin de contribuir a la tecnificación en sus procesos de cultivo, a partir del monitoreo y registro automático de la información obtenida. Además los dispositivos desarrollados están dotados de un sistema de alarmas de última generación en apoyo a la oportuna toma de decisiones.

I.2.2 Metodología

En este trabajo de tesis se aborda el desarrollo de un sistema y varios instrumentos electrónicos para la empresa Productos Oceánica bajo el siguiente esquema:

- En la primera etapa, se desarrolla un instrumento de medición de temperatura y

GRUPO MARÍTIMO MIRAMAR, S.A. DE C.V.
 Calle 10 #360 El Sauzal Ensenada, B.C. 22760. Tels. (646) 175-8607, 174-7626 Fax. 175-94-66
 R.F.C GMM-100604-JHO
 Correo electrónico: grupomaritimomiramar@hotmail.com

FORMATOS DE PROCEDIMIENTOS

Fecha de Emisión: Clave del documento: N° Revisión y Fecha: 2ª Edición: Página 4
 MPGMLV

FORMATO 14-a. CONTROL DE PARÁMETROS FÍSICO QUÍMICOS EN AGUA DE MAR

Fecha: 28/NOV/14 Hora: 11:10 am

Número folio: 000499
 FORMATO-GMP014

Sistema / Parámetro	Oxígeno ppm	T°C	REDOX mV	pH	SAL %	NH ³ /NH ₄ %	Observaciones	Acciones correctivas
Pila 1	7.9	14.6	—	7.8	3.3	2.02/97.98	—	—
Pila 2	7.7	14.6	—	7.7	3.3	2.01/97.99	—	—
Pila3	7.8	14.3	—	7.7	3.4	2.01/97.99	—	—
Pila4	7.9	14.5	—	7.8	3.3	2.02/97.98	—	—
Pila5	7.9	14.4	—	7.6	3.4	2.00/98.00	—	—
Pila6	7.8	14.4	—	7.3	3.4	1.98/98.02	—	—
Pila7	7.7	14.6	—	7.8	3.4	2.02/97.98	—	—
Pila 8	7.9	14.5	—	7.7	3.3	2.01/97.99	—	—
Tina1	8.0	14.6	—	7.8	3.4	2.02/97.98	—	—
Tina2	8.2	14.3	—	7.6	3.5	2.01/97.99	—	—
Tina3	8.0	14.5	—	7.8	3.4	2.02/97.98	—	—
Tina4	7.7	14.2	—	8.0	3.4	2.05/97.95	—	—
Tina5	7.9	14.2	—	7.8	3.3	2.02/97.98	—	—
Tina6	7.8	14.5	—	7.9	3.4	2.04/97.96	—	—
Tina7	7.8	14.1	—	7.6	3.4	2.00/98.00	—	—
Tina8	7.9	14.6	—	7.7	3.3	2.01/97.99	—	—
Tina9	8.0	14.7	—	7.9	3.3	2.09/97.96	—	—
Tina10	8.2	14.9	—	7.8	3.5	2.01/97.98	—	—
Tina11	8.3	15.2	—	7.7	3.3	2.01/97.99	—	—
Tina12	8.2	14.9	—	7.8	3.4	2.01/97.98	—	—

Figura 1: Formato de control de parámetros físico-químicos en agua de mar (con autorización de reproducción: Grupo Marítimo Miramar) .

oxígeno disuelto, equipado con una pantalla LCD, un módulo GSM para enviar mensajes de texto a manera de alerta, y un módulo de comunicación inalámbrica que envía las mediciones hacia una computadora remota.

- En la segunda etapa, se desarrolla un instrumento de medición de temperatura y pH, equipado con una pantalla LCD, un módulo GSM para enviar mensajes de texto a manera de alerta, y un módulo de comunicación inalámbrica que envía las mediciones hacia una computadora remota.
- En la tercera etapa, se desarrolla un instrumento de medición de nivel de líquido en estanques de almacenamiento, equipado con una pantalla LCD.
- En la cuarta etapa, se desarrolla un sistema que mide la temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, conductividad, salinidad, total de sólidos disueltos, humedad relativa y nivel de líquido. El sistema está dotado con una pantalla LCD, un módulo GSM para enviar mensajes de texto a manera de alerta, y un módulo de comunicación inalámbrica que envía las mediciones hacia una computadora remota que tiene programada una interfaz gráfica que despliega y almacena las mediciones de los parámetros en tiempo real. En esta etapa se integran en un solo instrumento todas las variables de interés en los procesos de cultivo de la empresa Productos Oceánica.
- Como trabajo complementario, se diseña un contador optoelectrónico de peces, equipado con una pantalla táctil y un módulo de comunicación inalámbrica que envía las mediciones hacia una computadora remota dotada de una interfaz gráfica para desplegar el número de peces contados en tiempo real y registrando el tiempo acumulado en el proceso de conteo de peces.

I.3 Objetivos del trabajo de tesis

I.3.1 Objetivo General

El objetivo general de este trabajo de tesis es: Diseñar y construir un sistema de monitoreo remoto de temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos, humedad relativa y nivel de líquido en estanques de abastecimiento dotado con alarmas preventivas vía GSM con ajuste en sus intervalos de operación, así mismo se contempla el diseño de un contador optoelectrónico de peces.

I.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar y construir un instrumento electrónico de medición de: temperatura, oxígeno disuelto, pH, salinidad, conductividad eléctrica, total de sólidos disueltos y nivel de líquido en estanques de almacenamiento y cultivo.
- Implementar módulos de transmisión inalámbrica de datos al instrumento de medición.
- Implementar un módulo GSM al instrumento de medición, para enviar mensajes de alerta al usuario.
- Implementar una interfaz gráfica en tiempo real para desplegar y almacenar en una computadora remota los datos de las variables.
- Diseñar un contador optoelectrónico de peces.

I.4 Organización del manuscrito

Este trabajo de tesis está compuesto por siete capítulos y tres apéndices. En el **capítulo II** se presenta el marco teórico relacionado con la acuicultura y la instrumentación electrónica. En el **capítulo III** se presenta el desarrollo del sistema electrónico de

monitoreo y se describe cada elemento que lo integra. En el **capítulo IV** se presenta la comunicación inalámbrica y la interfaz gráfica que se implementan en el sistema electrónico de monitoreo. En el **capítulo V** se describe el contador optoelectrónico de peces. En el **capítulo VI** se presentan los resultados derivados de la implementación de los instrumentos operando en condiciones reales en la empresa Productos Oceánica. Finalmente, en el **capítulo VII** se presentan las conclusiones generales y aportaciones del trabajo de tesis. Así mismo se presenta una proyección de trabajos a futuro.

El **apéndice A** presenta el reporte técnico del instrumento de medición de pH, temperatura y amoníaco desarrollado para la empresa Productos Oceánica.

El **apéndice B** presenta el manual de usuario del instrumento de monitoreo de pH y temperatura desarrollado en este trabajo de tesis.

El **apéndice C** presenta el manual de usuario del instrumento de monitoreo de pH, temperatura y amoníaco.

El **apéndice D** presenta la producción académica derivada del trabajo de tesis de maestría.

Capítulo II

Marco Teórico

II.1 La acuicultura

La definición de acuicultura ha sido muy discutida y de acuerdo con su etimología se puede definir como: *“el cultivo de especies acuáticas”*. Sin embargo, esta definición se ha complementado por investigadores como Idyll, quién la describe como: *“la cría de especies acuáticas útiles, controlando de alguna forma los organismos en cuestión con su ambiente”* (Lemus *et al.*, 1997).

Estas definiciones resultan generales y vagas, por lo que los especialistas se han dado a la tarea de ampliarla para llegar a un acuerdo. Una de las definiciones más aceptadas y adoptada en este trabajo de tesis es: ***“La acuicultura es una biotécnica cuyos métodos y técnicas abarcan el manejo y control total o parcial de los cuerpos de agua (lago, mar u océano) y de sus recursos bióticos, con el objetivo de lograr su aprovechamiento socioeconómico, o bien por interés de tipo biológico”*** (Cobo *et al.*, 1999).

II.1.1 Orígenes de la acuicultura

Los primeros datos que se tienen registrados sobre la acuicultura datan del año 2000 a. C., tiempo en que los japoneses cultivaban ostras en sus zonas intermareales, actividad que, según Aristóteles, también se desarrolló en Grecia y según Plinio en Roma 100 años antes de Cristo. En China el erudito Fan-Li, en el año 475 a. C., escribió el primer libro sobre acuicultura del que se tiene referencia, con base en la experiencia en la cría y cultivos de peces como la carpa común que cultivó en Wushi, provincia de Kiangsu,

en la China oriental. Se dice que Fan-Li sostenía: “*Dadme dos peces y llenaré cualquier estanque*”. En aquella época también se llevó a la práctica las técnicas en acuicultura entre los pueblos egipcios, hindúes, persas y hebreos, que cultivaron peces en estanques bien diseñados.

En el siglo XIV el religioso francés Dom Pinchon, logró incubar huevos de trucha que recolectó en los ríos donde estos peces se reproducen (Lemus *et al.*, 1997). En el siglo XVIII el alemán Jacobi, logra fecundar huevos de trucha y salmón publicando sus resultados en 1758. A partir de estos resultados, los pescadores franceses Joremy y Gehin en 1844 logran producir una cantidad considerable de alevines con fines de repoblación. Con base en estas referencias se considera que el inicio formal de la acuicultura se da en el siglo XVIII cuando se logra la fecundación artificial de peces, aplicando criterios de selección genética básicos para la cría de animales en cautiverio. En el siglo XIX se hace del dominio público estas técnicas lo que conlleva a la primera estación de piscicultura en Huningue, Francia.

A partir de entonces, la acuicultura se extiende por toda Europa y llega a América, principalmente a los Estados Unidos. En Japón, durante todo este período avanzó considerablemente llegando a cultivar no sólo especies de agua dulce, sino también algunas especies marinas, así como algas comestibles (Lemus *et al.*, 1997).

II.1.2 Estado actual de la acuicultura

En la actualidad la producción acuícola mundial ha crecido significativamente. En el transcurso de medio siglo aproximadamente, la acuicultura ha pasado de ser casi insignificante a equipararse totalmente a la producción de la pesca de captura. Este sector ha evolucionado en innovación tecnológica y se ha visto su facilidad de adaptación para acoplarse a las condiciones de cambio de su entorno.

La producción acuícola mundial alcanzó un nivel máximo sin precedentes en el año 2010, aproximadamente 60 millones de toneladas con un valor total estimado de 119 000 millones de dólares. Actualmente se crían unas 600 especies acuáticas en cautiverio en todo el mundo bajo diversos sistemas e instalaciones de cultivo con diferentes grados de insumos y de complejidad tecnológica y se han desarrollado para especies en agua dulce, salobre y marina. Asimismo, la acuicultura contribuye notablemente a la producción de la pesca de captura basada en cultivo, específicamente en aguas continentales, gracias al material de reproducción cultivado en viveros.

En cuanto a la producción por continentes, Asia representó casi el 89 % del volumen acuícola mundial en el año 2010, lo cual supone un aumento con respecto al 87.7 % en el año 2000. La contribución de la acuicultura en agua dulce ha aumentado de forma progresiva al 65.6 % en 2010, frente al 60 % aproximadamente alcanzado durante la década de los 90's. En América, la proporción en agua dulce en relación a la producción total se redujo del 54.8 % en 1990 al 37.9 % en 2010. En América del norte, ha dejado de aumentar en los últimos años, pero en América del Sur se ha registrado un crecimiento fuerte y continuo, en particular en Brasil y Perú. En Europa, la cuota de producción en aguas salobres y marinas aumentó de 55.6 % en 1990 a 81.5 % en 2010, impulsada por la acuicultura marina en jaulas de salmón del Atlántico y otras especies. África ha aumentado su contribución a la producción mundial del 1.2 % al 2.2 % en el último decenio. Finalmente, Oceanía tiene una importancia relativamente marginal en la producción acuícola mundial (FAO, 2012).

En la figura 2 se muestran los datos de producción acuícola por continente. Se puede observar que cada continente está dividido en subregiones indicando las toneladas y el porcentaje de la evolución en la producción del año 1970 al 2010. Se observa que en algunos casos la producción ha ido en aumento, mientras que en otras se ha presentado

un decremento. Asia aporta un 89 % de la producción mundial, América un 4.3 %, África 2.2 %, Europa 4.2 % y Oceanía 0.3 %.

En la figura 3, se presenta específicamente el caso de América, en donde se presentan los diez principales productores acuícolas. Donde Chile encabeza la lista, seguida por Estados Unidos de América y se puede observar que México se encuentra en la 6^{ta} posición aportando un 4.9 % del total de la producción en nuestro continente (FAO, 2012).

II.1.3 Tipos de cultivos acuícolas

Existen diferentes tipos de cultivos, según su intensidad y tecnificación. Los tres tipos de cultivos acuícolas más comunes son: los *extensivos*, *intensivos* y *semi-intensivos*.

- Los *cultivos extensivos* (de baja intensidad y tecnología), aprovechan condiciones naturales favorables, alcanzando una producción cuyo límite está dado por la capacidad del medio donde se cultivan las especies marinas. Para desarrollar estos cultivos, es necesario contar con unidades de producción de crías, las cuales al sembrarse en los cuerpos de agua apropiados aprovechan el alimento natural para crecer y engordar. Como en estos cuerpos de agua naturales existen otras especies que pueden ser competidoras o depredadoras de las cultivadas, el rendimiento de la acuicultura extensiva en ocasiones es limitada (Lemus *et al.*, 1997).

Los cultivos extensivos más conocidos son los de organismos filtradores marinos tales como: ostras, almejas, mejillones y microalgas marinas. Estos cultivos se llevan a cabo directamente sobre fondos arenosos de áreas intermareales o sobre estructuras apoyadas en el fondo, como estacas o mesas de cultivo (Cervigón, 1989).

- Los *cultivos intensivos* requieren mucho más manejo y cuidado que los extensivos.

Determinados grupos y países		1970	1980	1990	2000	2009	2010
África	(toneladas)	10 271	26 202	81 015	399 676	991 183	1 288 320
	(porcentaje)	0,40	0,60	0,60	1,20	1,80	2,20
África subsahariana	(toneladas)	4 243	7 048	17 184	55 690	276 906	359 790
	(porcentaje)	0,20	0,10	0,10	0,20	0,50	0,60
África del Norte	(toneladas)	6 028	19 154	63 831	343 986	714 277	928 530
	(porcentaje)	0,20	0,40	0,50	1,10	1,30	1,60
Américas	(toneladas)	173 491	198 850	548 479	1 423 433	2 512 829	2 576 428
	(porcentaje)	6,80	4,20	4,20	4,40	4,50	4,30
Caribe	(toneladas)	350	2 329	12 169	39 704	42 514	36 871
	(porcentaje)	0,00	0,00	0,10	0,10	0,10	0,10
América Latina	(toneladas)	869	24 590	179 367	799 234	1 835 888	1 883 134
	(porcentaje)	0,00	0,50	1,40	2,50	3,30	3,10
América del Norte	(toneladas)	172 272	171 931	356 943	584 495	634 427	656 423
	(porcentaje)	6,70	3,70	2,70	1,80	1,10	1,10
Asia	(toneladas)	1 799 101	3 552 382	10 801 356	28 422 189	49 538 019	53 301 157
	(porcentaje)	70,10	75,50	82,60	87,70	88,90	89,00
Asia (a excepción de China y el Cercano Oriente)	(toneladas)	1 034 703	2 222 670	4 278 355	6 843 429	14 522 862	16 288 881
	(porcentaje)	40,30	47,20	32,70	21,10	26,10	27,20
China	(toneladas)	764 380	1 316 278	6 482 402	21 522 095	34 779 870	36 734 215
	(porcentaje)	29,80	28,00	49,60	66,40	62,40	61,40
Cercano Oriente	toneladas	18	13 434	40 599	56 665	235 286	278 061
	(porcentaje)	0,00	0,30	0,30	0,20	0,40	0,50
Europa	(toneladas)	575 598	916 183	1 601 524	2 050 958	2 499 042	2 523 179
	(porcentaje)	22,40	19,50	12,20	6,30	4,30	4,20
Unión Europea (27)	(toneladas)	471 282	720 215	1 033 982	1 395 669	1 275 833	1 261 592
	(porcentaje)	18,40	15,30	7,90	4,30	2,30	2,10
Países ajenos a la Unión Europea	(toneladas)	26 616	38 594	567 667	657 167	1 226 625	1 265 703
	(porcentaje)	1,00	0,80	4,30	2,00	2,20	2,10
Oceanía	(toneladas)	8 421	12 224	42 005	121 482	173 283	183 516
	(porcentaje)	0,30	0,30	0,30	0,40	0,30	0,30
Total mundial	(toneladas)	2 566 882	4 705 841	13 074 379	32 417 738	55 714 357	59 872 600

Figura 2: Producción acuícola por continente (FAO, 2012).

América	Toneladas	Porcentaje
Chile	701 062	27,21
Estados Unidos de América	495 499	19,23
Brasil	479 399	18,61
Ecuador	271 919	10,55
Canadá	160 924	6,25
México	126 240	4,90
Perú	89 021	3,46
Colombia	80 367	3,12
Cuba	31 422	1,22
Honduras	27 509	1,07
Otros	113 067	4,39
Total	2 576 428	100

Figura 3: Los diez principales productores acuícolas de América (FAO, 2012).

Son cultivos auto-controlados con mucha tecnología. Los organismos son sembrados en alta densidad con el fin de alcanzar la máxima producción posible por unidad de agua. Típicamente estos cultivos son mono-cultivos empleando alimentos concentrados especiales y costosos. Para que los organismos puedan lograr un rápido crecimiento y a la vez evitar problemas de contaminación y niveles bajos de oxígeno, se renueva continuamente el agua del cultivo instalando sistemas de aereación artificial en las unidades de producción (Meyer, 2004).

- En los *cultivos semi-intensivos* la intervención del hombre en el proceso productivo es menor que en los intensivos y mayor que en los extensivos. En general se suelen emplear zonas naturales (lago, mar u océano). Aquí la intervención del hombre es para llevar a cabo el control del nivel y renovación del agua, la fertilización del medio, la oxigenación y el complemento de la alimentación (Cobo *et al.*, 1999).

II.2 Principales variables a monitorear en procesos de acuicultura

La calidad del agua para el cultivo incluye variables físicas, químicas y biológicas que influyen directamente en la producción de especies acuáticas. Por ejemplo en las buenas prácticas de manejo de cultivos de peces, se tiene como objetivo mantener las condiciones químicas y biológicas adecuadas en el medio tales como: concentraciones de nutrimentos en el agua, una floración adecuada de algas, la densidad de siembra, entre otras.

En un proceso acuícola el crecimiento adecuado de los organismos acuáticos depende en gran medida de la calidad del agua de cultivo. Son múltiples los factores que interactúan para alterar las propiedades físico-químicas del agua. Por ejemplo, un cambio repentino en la temperatura o en concentración de oxígeno disuelto, puede resultar en una mortalidad de la especie bajo cultivo, o cambios menos drásticos pueden afectar la capacidad de los organismos de resistir patógenos que siempre están presentes en el entorno de cultivo. Por lo tanto, para lograr una buena producción, es necesario mantener ciertas variables físico-químicas del agua dentro de los límites de tolerancia acorde a la especie bajo cultivo. De esta manera se logrará un cultivo en buenas condiciones, cuando todos los factores que influyen sobre el desarrollo del organismo se acercan a sus puntos óptimos.

Las principales variables físico-químicas que se consideran para evaluar la calidad del agua en los cultivos acuícolas son: la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, la salinidad, la conductividad eléctrica, el total de sólidos disueltos, el amoníaco y la dureza del agua (Meyer, 2004).

A continuación se describen las variables físico-químicas que se abordan en este trabajo de tesis.

II.2.1 Temperatura (T)

Las variaciones de temperatura (T) tiene efectos biológicos que inciden directamente en el crecimiento, la reproducción y con problemas patológicos que puedan aparecer en las especies. Además, la temperatura tiene una correlación directa con otros parámetros como el oxígeno disuelto, el pH y la salinidad que son determinantes en la calidad del agua.

El hecho de que todos los animales de importancia comercial en la acuicultura sean animales de sangre fría, crea una mayor dependencia respecto al control de la temperatura, la cual incide directamente en los procesos de reproducción y en aspectos metabólicos.

Existen diferencias entre las especies de moluscos, crustáceos y peces respecto a la tolerancia a la temperatura, su margen de variación está en función de la especie, época del año, estado fisiológico y de la etapa de desarrollo. Por lo que, es de gran importancia establecer los límites admisibles como máximos y mínimos tolerados por la especie bajo cultivo. Cada especie tiene una tolerancia óptima que condiciona directamente la actividad metabólica y que está directamente relacionada con el consumo de oxígeno (Orvay, 1993).

En la tabla I se presenta una clasificación de como se considera al agua ligada al rango de temperatura a la que se encuentra.

Tabla I: Rangos de temperatura para agua fría, agua fresca y agua caliente (Swann, 1997).

Categoría	Rangos de temperatura
Agua fría	13 a 18°C (55 a 65°F)
Agua fresca	18 a 24°C (65 a 75°F)
Agua caliente	24 a 32°C (75 a 90°F)

II.2.2 Oxígeno disuelto (DO)

Los peces, moluscos y crustáceos respiran el oxígeno molecular (O_2) disuelto en el agua. La concentración de oxígeno en solución (DO, por sus siglas en inglés) en el agua de un estanque puede ser considerada como el parámetro más importante en la acuicultura. De muchas maneras, el nivel de oxígeno en solución es el mejor indicador del estado general que guarda el cultivo acuícola. Es importante por ende, conocer la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua de cultivo, así como entender los factores que afectan su concentración. Por ejemplo, al incrementarse la temperatura del agua pierde poco a poco su capacidad de mantener gas en solución, por lo que, es más frecuente tener problemas con concentraciones insuficientes de oxígeno durante épocas calientes en el año. Por otro lado la solubilidad del oxígeno en el agua disminuye mientras baja la presión atmosférica, es decir, a mayores alturas (sobre el nivel del mar) el agua puede alojar menores cantidades de gas en solución. El oxígeno se mantiene en solución en el agua debido a la presión atmosférica. A menor presión atmosférica, menor fuerza para mantener el gas en el agua. Además, incrementos en la salinidad del agua disminuyen también su capacidad de alojar gas en solución. Las moléculas de sal ocupan lugares en el agua donde pueden estar presentes las moléculas de oxígeno. El agua de mar tiene una menor capacidad de mantener gas en solución en relación al agua dulce (Meyer, 2004).

El oxígeno disuelto se expresa generalmente en miligramos por litro (mg/L). Una generalización común acerca de los requerimientos del oxígeno para la acuicultura es que el mínimo de oxígeno disuelto debe ser mayor a 5 mg/L para el crecimiento de los peces en agua caliente, y 6 mg/L para peces de agua fría a temperatura óptima (Summerfelt, 1998).

II.2.3 Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno (pH) representa una medida de la concentración de iones de hidrógeno (H^+) en el agua. El valor de pH es igual al logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno presentes en una muestra de agua ($pH = -\log[H^+]$). La escala de pH va de 0 a 14. Un valor de pH 7 es considerado *neutro*. Los valores por debajo de 7 indican una concentración elevada de H^+ y condiciones de *acidez* en el medio. Los valores por arriba de 7 indican una baja concentración de H^+ y hay condiciones *básicas* o *alcalinas* del medio (Meyer, 2004).

El pH tiene una marcada influencia en efectos considerados como tóxicos, cuyo aumento o disminución del grado de toxicidad se relaciona con la elevación o descenso del pH.

Las variaciones de pH a nivel biológico influyen en el crecimiento de las especies acuáticas. Según los datos existentes, los animales crecen mejor en aguas alcalinas que en agua ácidas. Un pH de 3.5 a 4 produce efectos letales, afectando en la mayoría de los casos la reproducción y desarrollo larvario, mientras que valores de pH de 6.5 a 8.5 son considerados óptimos para procesos acuícolas. El pH puede ser fácilmente controlado, por lo que la determinación de sus valores de forma continua es una práctica usual y cotidiana en los centros de cultivo, sobre todo en las instalaciones con circuito cerrado (laboratorios o empresas acuícolas) (Orvay, 1993).

II.2.4 Salinidad (S)

La salinidad es la concentración total de iones disueltos en el agua. Este parámetro influye en el bienestar del cultivo acuático, en el ritmo de crecimiento y tasa de mortalidad de especies marinas. El agua de mar contiene aproximadamente de 35 a 36 ppt (partes por mil) de sal, esta cantidad es equivalente a 35 Kg de sal en cada metro cúbico de agua de mar. El agua de mar contiene una gran variedad de iones en

solución. El agua dulce tiene muy poca o casi nada salinidad, típicamente menos de 1 ppt.

Ciertas especies acuáticas son capaces de adaptarse a fluctuaciones grandes de salinidad, por ejemplo, los salmones son peces que nacen en el agua dulce, migran al mar en una etapa de su vida y luego, retornan al agua dulce para su reproducción (Meyer, 2004). Un aspecto a considerar es que en la mayoría de los casos no se puede modificar la salinidad del agua en procesos de cultivo acuícolas.

II.2.5 Conductividad eléctrica (EC)

La conductividad eléctrica en medios líquidos (EC, por sus siglas en inglés) es la medida de la cantidad de electricidad que conduce una solución. Se expresa típicamente en siemens por metro (S/m) y se correlaciona con el contenido de sal y el total de sólidos disueltos. En los cultivos piscícolas de agua dulce, generalmente los peces prosperan en una amplia gama de valores de conductividad eléctrica. En los cultivos acuícolas donde se trabaja con agua de mar se tiene una conductividad alrededor de 50,000 a 60,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Stone y Thomforde, 2004).

II.2.6 Total de sólidos disueltos (TDS)

El total de sólidos disueltos (TDS, por sus siglas en inglés) es la concentración total de todas las sustancias disueltas en el agua (Boyd, 1998). Este parámetro es importante conocerlo debido a que el alimento no ingerido, las partículas finas suspendidas del mismo, las heces de los organismos bajo cultivo y las algas o películas bacterianas desprendidas de los biofiltros, se acumulan en cualquier sistema de acuicultura constituyendo los desechos sólidos parte del TDS. En un sistema de cultivo que cuente un sistema de recirculación, estos desechos pueden influir sobre todos los demás procesos del sistema, generando una importante demanda de oxígeno e incorporación de

nutrientes en el agua y pueden afectar la salud de los peces actuando sobre su sistema branquial y aumentando su exposición a patógenos.

Para una operación normal de cultivo de peces por ejemplo, el límite de total de sólidos disueltos suele ser de 10 mg/L, pudiendo alcanzar hasta un límite superior de 25 mg/L (Bavera, 2006).

II.2.7 Nivel de líquido en estanques de abastecimiento y cultivo

El requerimiento correspondiente a la cantidad de agua de abastecimiento y cultivo para la producción proyectada, es una de las características más importantes cuando se está definiendo en donde instalar un sistema de cultivo (cualquiera que sea su clase). La cantidad de agua dependerá de diferentes factores, como son: la especie a cultivar, la densidad de la especie marina, las prácticas de manejo acuícola y la tecnología de producción a emplear. Por lo tanto, la cantidad de agua a emplear deberá ser calculada con precisión, aún cuando el sistema utilice tecnología de recirculación, de lo contrario, se deberá pensar en el cambio del volumen total de agua del sistema en forma periódica (Bavera, 2006).

II.3 Instrumentación electrónica

Para lograr mantener la calidad del agua en un estado óptimo en los cultivos acuícolas, es de suma importancia tener monitoreados al menos los parámetros mencionados anteriormente, para tal fin es de gran ayuda la tecnología, en especial la que se basa en la instrumentación electrónica. La instrumentación electrónica es el área de la tecnología que estudia los equipos desarrollados mediante circuitos y sistemas eléctricos, destinados a la medición, visualización, generación y conversión de señales eléctricas.

Los instrumentos se basan en dispositivos o elementos que convierten una señal no eléctrica (temperatura, presión, pH, etc.) en una señal eléctrica, que suelen recibir el nombre de *transductores* (Mandado *et al.*, 1995).

II.3.1 Instrumentos y sistemas de monitoreo

Se ha mencionado que los parámetros físicos y químicos son la base para caracterizar la calidad del agua y muchos instrumentos actuales se basan en diferentes principios para determinar sus valores. Los instrumentos para estimar la calidad del agua pueden ser divididos en *fijos* y *portátiles* (Lekang, 2008).

Los instrumentos fijos pueden permanecer en el agua monitoreando continuamente los valores de los parámetros y por lo general tienen uno o varios electrodos o sensores. Algunos de estos instrumentos pueden ser usados como instrumentos portátiles para realizar mediciones individuales y aisladas.

Los instrumentos portátiles son mayormente empleados en laboratorios y generalmente se requiere de trabajo adicional para realizar algún tipo de análisis. Estos instrumentos no son recomendados para permanecer de manera continua en el agua durante largos intervalos de tiempo debido a la naturaleza del electrodo con los que están fabricados.

A continuación se describen los instrumentos empleados para llevar a cabo las mediciones de los principales parámetros físico-químicos.

Termómetros

En los cultivos de peces por ejemplo, la temperatura necesita ser medida en distintos momentos. Existe una gran variedad de termómetros, tales como los de mercurio, de gas y de lámina bimetálica. Los más utilizados actualmente en acuicultura son los termómetros digitales, que valiéndose de sensores (termistor, termopar, entre otros.)

utilizan circuitos electrónicos para obtener el valor de la temperatura a partir de las pequeñas variaciones de tensión en los termopares.

Una de las ventajas que presentan los termómetros digitales respecto a otros tipos, es la posibilidad que brindan algunos para interconectarse con algún dispositivo capaz de almacenar datos, convirtiéndose en termógrafos (Bonilla, 1989). Estos instrumentos son muy útiles para que el acuacultor pueda realizar algún estudio de su cultivo con los datos recolectados en una corrida de producción.

En la figura 4 se muestra un termómetro digital de uso comercial, este instrumento cuenta con una pantalla y una sonda metálica que consiste de un termistor con coeficiente de temperatura negativa (NTC, por sus siglas en inglés).



Figura 4: Termómetro digital.

pH-metros

Para la medición del pH son utilizados comúnmente los siguientes métodos: a) *colorimetría*, b) *papeles indicadores* y c) *pH-metros*. En los cultivos acuícolas es recomendable utilizar el pH-metro. Este instrumento se constituye por un sensor

formado por dos electrodos, uno para la medición de la concentración de H^+ (electrodo de pH) y el otro usado como electrodo de referencia (Lekang, 2008). El electrodo de pH consiste en una membrana permeable a los iones de hidrógeno dando forma a una celda que encierra un electrolito. Entre los electrodos pasa una corriente que depende de la concentración de H^+ , generando un voltaje que es interpretado como el valor de pH, generalmente dicho valor se despliega en una pantalla LCD.

En la figura 5, se muestra un pH-metro compuesto por una pantalla LCD donde se despliega el valor de pH y una sonda que contiene los dos electrodos mencionados anteriormente. Cabe destacar que la mayoría de los pH-metros tienen un sensor de temperatura integrado, debido a la codependencia que tienen estos dos parámetros, por lo que se hace necesario realizar una compensación en temperatura.



Figura 5: pH-metro.

Oxímetros

El contenido de oxígeno disuelto puede ser medido química o electrónicamente. Por lo general los acuacultores realizan la medición de oxígeno en sus cultivos por medio de un oxímetro. Este instrumento consiste de un sensor que contiene dos electrodos,

uno cargado positivamente y otro negativamente, ambos electrodos están separados por un aislante. Alrededor de los electrodos se encuentra un electrolito cubierto por una membrana permeable a las moléculas de oxígeno. Debido a que hay un electrodo positivo y uno negativo se motiva la electrólisis y los electrones pasarán entre ellos, por lo que la magnitud de corriente de circulación se relaciona con la cantidad de oxígeno presente en el electrolito. Todo el sistema depende de cuanto oxígeno es transportado a través de la membrana, lo cual está relacionada con la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

En la figura 6, se muestra un oxímetro compuesto por una pantalla LCD donde se despliega el valor del oxígeno en mg/L y una sonda que contiene los electrodos. Cabe destacar que la mayoría de los oxímetros al igual que los pH-metros, integran un sensor de temperatura, debido a que la temperatura es una variable que afecta al oxígeno disuelto y por lo tanto, es necesario hacer una compensación en temperatura. Adicionalmente, por lo general los oxímetros cuentan con la opción de introducir el valor de salinidad a la que se encuentra el agua, ya que la salinidad es otra variable correlacionada con el valor de oxígeno disuelto.

Medidores de EC, salinidad y TDS

Debido a que la salinidad en el agua y el TDS son parámetros que se pueden calcular a partir de la conductividad, el instrumento utilizado para determinar estas variables se conoce como conductímetro. Este instrumento consiste en una sonda con dos electrodos que son sumergidos en agua. A los electrodos se les aplica un pequeño voltaje para motivar la circulación de una corriente entre ellos, que será dependiente de la concentración de iones en el agua (Lekang, 2008).



Figura 6: Oxímetro.

En la figura 7, se muestra un conductímetro que está compuesto por una pantalla LCD donde se despliega el valor de la conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ y una sonda que contiene los electrodos. La mayoría de los conductímetros al igual que los oxímetros y pH-metros, tienen un sensor de temperatura integrado, debido a que la temperatura es una variable que afecta la conductividad en el agua y por lo tanto, es necesario hacer una compensación en temperatura. Algunos conductímetros tiene la opción de mostrar en pantalla los valores de salinidad y el TDS en ppm.

Medidores de nivel de líquido

Existen diferentes métodos para medir el nivel de líquido en estanques de cultivo, están los que usan flotadores, sensores de presión, sensores capacitivos o dispositivos ultrasónicos (Lekang, 2008). El método que se basa en un sensor ultrasónico es el que se implementa en este trabajo de tesis. En este método el sensor emite ondas ultrasónicas hacia el agua, como se muestra en la figura 8. Dichas ondas se reflejan del agua hacia el sensor y una vez que el sensor las recibe, se calcula el tiempo transcurrido entre la transmisión y la recepción. Este valor se multiplica por la velocidad del sonido en el



Figura 7: Conductímetro.

aire (aproximadamente 343 m/s) para obtener la distancia entre el sensor y el nivel de líquido respectivo. Acorde a la figura 8, el nivel de líquido en el estanque se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

$$N = h_t - d_s, \quad (1)$$

donde:

N es el nivel de líquido en el estanque [m],

h_t es la altura del estanque [m] y

d_s es la distancia entre el sensor y el nivel de líquido [m].

Sistemas de monitoreo

En las empresas dedicadas a la acuicultura semi-intensiva o intensiva, resulta necesario controlar los diferentes factores que intervienen en la gestión de los cultivos. Para controlar cualquier etapa del proceso, es necesario primeramente llevar a cabo el monitoreo de la variable que se requiere controlar. Resulta evidente que es posible medir cada variable con su correspondiente instrumento (termómetro, pH-metro, etc.)

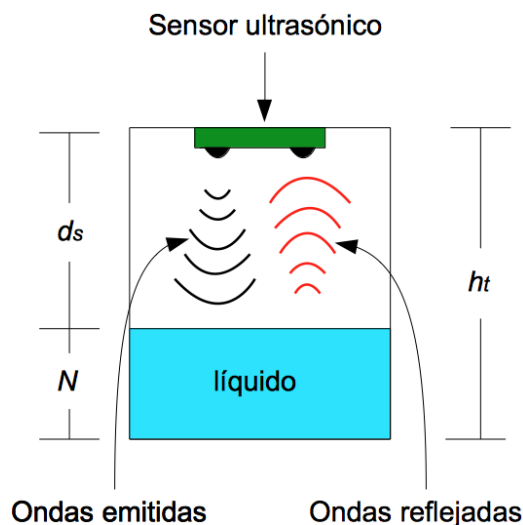


Figura 8: Medición del nivel de líquido en estanque por medio de sensor ultrasónico.

de manera semi-manual, pero resulta más eficiente contar con un *sistema de monitoreo* automático que realice todas las mediciones de interés, con la mínima intervención humana posible. Con este tipo de sistemas se ahorra tiempo y se pueden minimizar entre otros aspectos, los accidentes que ocurren al momento de tomar mediciones en los estanques.

Un sistema de monitoreo cuenta al menos con los siguientes tres componentes (Lekang, 2008):

- Conjunto de sensores acorde al tipo variable por medir.
- Centro de monitoreo que interpreta las señales de los sensores y eventualmente envía una señal de alarma al usuario.
- Equipo de alerta cuando algo está fallando y un equipo de emergencia para iniciar o detener el sistema.

En el mercado actual hay diferentes empresas que fabrican sistemas de monitoreo aplicados en acuicultura, tal es el caso de la Empresa Americana YSI. Entre los diferentes productos que ofrece se encuentra el sistema de monitoreo y control

multiparámetro **YSI 5200A** que se muestra en la figura 9.

Dicho sistema cuenta con las siguientes características:

- Sensores de oxígeno disuelto, temperatura, pH, conductividad y salinidad.
- Registro de calibración de los sensores.
- Comunicación inalámbrica o por Ethernet TCP/IP.
- Capacidad de conectar más de 32 instrumentos a través del puerto serie.
- Pantalla LCD.
- Alarma vía SMS y correo electrónico.
- Software de monitoreo y control.



Figura 9: sistema de monitoreo y control multiparámetro **YSI 5200A**.

II.4 Resumen

En este capítulo se presentó un panorama general de la acuicultura, haciendo énfasis en la importancia en mantener el estado de la calidad del agua en condiciones óptimas para que los cultivos se lleven a cabo de la mejor manera. Las variables

físico-químicas resultan ser el medio para determinar el estado de la calidad del agua, bajo esta perspectiva resulta fundamental monitorearlas para poder tomar las acciones pertinentes y mantenerlas dentro de los rangos permitidos para la especie en cultivo. Se mostró el papel que juega la electrónica dentro de los procesos acuícolas, específicamente en el desarrollo de instrumentos de medición, haciendo notar que resulta más conveniente contar con un sistema de monitoreo automático que tener un instrumento por cada parámetro que se desea medir.

Capítulo III

Desarrollo del sistema de monitoreo multiparámetro

III.1 Descripción general

El sistema de monitoreo multiparámetro desarrollado en este trabajo de tesis contiene un dispositivo electrónico que se encarga de tomar cada una las mediciones de temperatura, pH, oxígeno, conductividad (salinidad y TDS se obtienen indirectamente), nivel de líquido y humedad ambiental, automáticamente y de manera continua a través de seis sensores electrónicos. Estas mediciones se despliegan en una pantalla LCD para su fácil visualización. El sistema es desarrollado para enviar mensajes de alerta o de monitoreo a teléfonos celulares. El caso del envío de una alerta sucede cuando un parámetro se sale de su intervalo de operación definidos en el equipo. Para el caso de monitoreo, el sistema envía, por ejemplo, un mensaje al teléfono celular cada ocho horas con las lecturas de cada una de las variables promediadas durante ese intervalo de tiempo.

Otro recurso implementado que tiene el sistema desarrollado es el de enviar cada determinado tiempo (30 minutos por ejemplo) las mediciones de las variables de manera inalámbrica hacia una computadora remota (que se encuentre a una distancia de 0-50 m con obstáculos). Esto facilita el almacenamiento digital de datos para su análisis posterior de ser requerido. En el capítulo IV se describe detalladamente la comunicación inalámbrica.

El sistema tiene un teclado matricial como medio para poder acceder al menú principal

que tiene las siguientes funciones:

- Definir los valores de operación mínimos y máximos de cada parámetro.
- Dar de alta o cambio de los teléfonos celulares a los que se desean mandar los mensajes de texto.
- Definir o cambio de la clave de acceso al menú.
- Salir del menú.

Adicionalmente, el dispositivo está provisto con un LED RGB (LED RGB, por sus siglas en inglés) como apoyo a un monitoreo visual. El LED enciende en uno de los tres colores (rojo, verde o amarillo) según sea el intervalo definido en el dispositivo. Por convención el LED enciende en el color verde si el parámetro asociado se encuentra dentro del intervalo permitido de operación, encenderá en el color amarillo si el parámetro asociado se encuentra en el límite del intervalo establecido y encenderá en color rojo si el parámetro asociado está fuera del intervalo predefinido. Otra característica importante del dispositivo desarrollado, es que está dotado con un método de autocalibración para el sensor de pH. Esto es particularmente útil al momento de realizar la limpieza del sensor y reiniciar su proceso de medición.

Finalmente, una vez encendido el dispositivo despliega en la pantalla LCD los intervalos establecidos para los parámetros, así como los teléfonos celulares que se tienen almacenados en la memoria EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) del dispositivo.

En la figura 10, se muestra un diagrama a bloques del sistema de monitoreo multiparámetro desarrollado en este trabajo de tesis. El sistema está compuesto por 6 sensores correspondientes a la temperatura, el pH, el oxígeno, la salinidad (TDS

y EC se calculan a través de salinidad), la humedad relativa y al nivel de líquido (por medio del sensor ultrasónico) enviando cada uno de ellos un voltaje respectivo al módulo de acondicionamiento de señal, para que posteriormente sean procesadas en el microcontrolador (μC). Cada una de las mediciones son desplegadas en la pantalla LCD y son transmitidas de forma inalámbrica a una computadora remota a través del módulo de comunicación XBee. La computadora de uso remoto, en la que se encuentra la interfaz gráfica está interconectada con otro módulo XBee que actúa como receptor. En la interfaz gráfica se despliegan las mediciones de forma gráfica y en tiempo real de los 8 parámetros. La implementación del teclado matricial en el instrumento de monitoreo es el medio de acceso para programar y definir los límites de operación del instrumento a través del microcontrolador. Por su parte el módulo GSM es el encargado de mandar los mensajes de texto a los teléfonos celulares registrados en la memoria EEPROM del microcontrolador.

III.2 Microcontrolador ATmega2560

El microcontrolador ATmega2560 es el elemento central del instrumento de monitoreo multiparámetro, ya que es el encargado de ejecutar las funciones operacionales del dispositivo, tales como:

- Procesar las señales eléctricas provenientes de los sensores y del teclado matricial.
- Establecer la comunicación con la pantalla LCD, el módulo GSM y el módulo XBee de comunicación inalámbrica de datos.
- Controlar el color del encendido del LED RGB.
- Ejecuta el autocalibrado del sensor de pH.

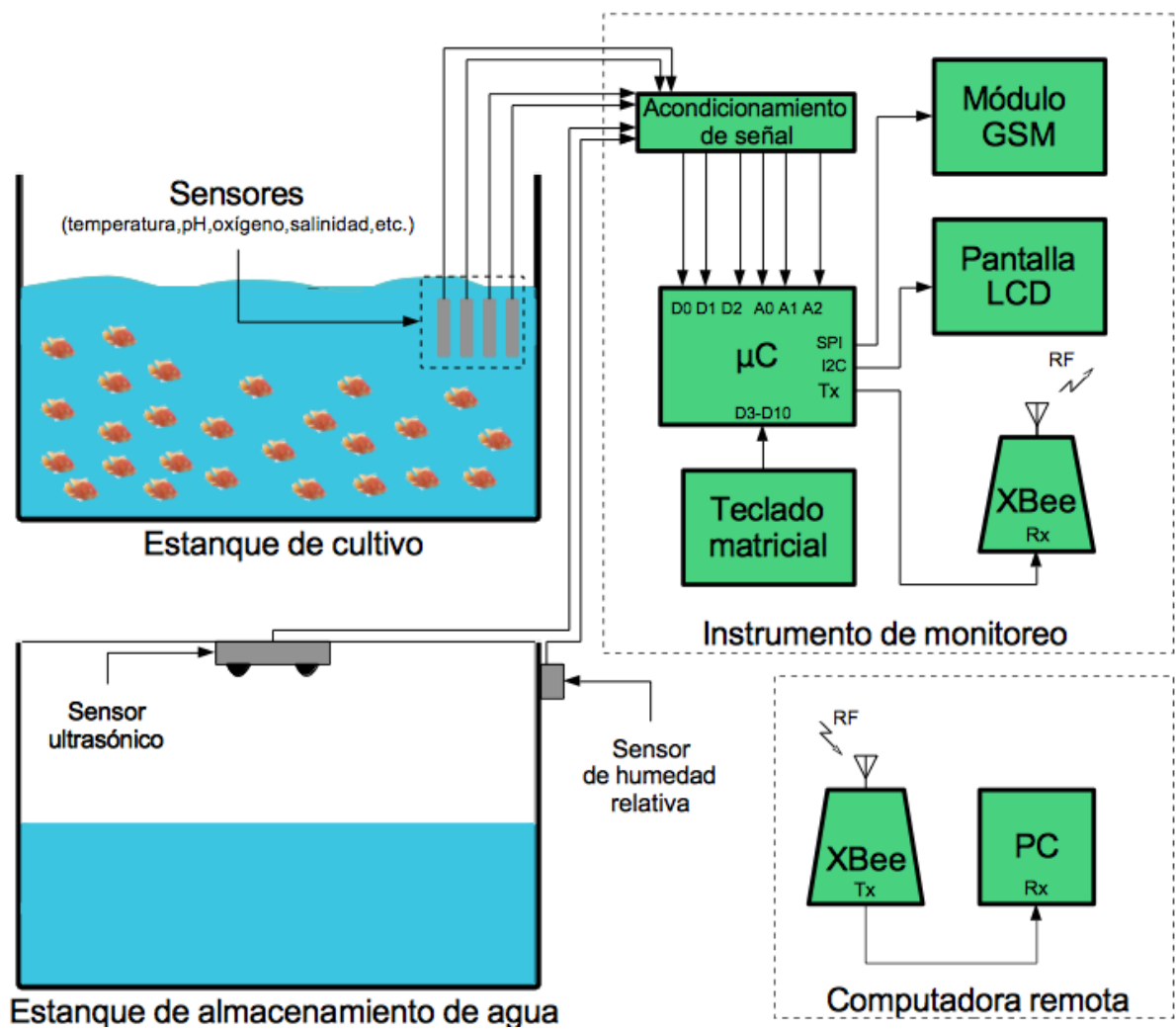


Figura 10: Diagrama a bloques del sistema de monitoreo multiparámetro.

El microcontrolador se muestra en la figura 11 y algunas de sus características se indican en la tabla II.

Tabla II: Características del microcontrolador ATmega2560.

Parámetro	Valor
Voltaje de operación	4.5 – 5.5 V
Pines I/O digitales	54 (15 salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Memoria flash	256 KB
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
CPU	8 bits
Frecuencia de reloj	16 MHz
Puertos UART	4
Puertos SPI	5
Puertos I2C	1



Figura 11: Microcontrolador ATmega2560.

En este trabajo de tesis se optó por la implementación del microcontrolador ATmega2560 dadas las siguientes características que se ajustan de manera adecuada al diseño del instrumento de monitoreo multiparámetro:

- Tamaño de programa principal de 42 KB contra sus 256 KB disponibles.
- Tres puertos de comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) donde se conectan un módulo XBee de transmisión inalámbrica de datos, un sensor

de oxígeno, un sensor de pH y un sensor de EC-salinidad-TDS.

- Un puerto de comunicación I2C para la pantalla LCD.
- Un puerto SPI para el módulo GSM.
- Una entrada analógica para el sensor de temperatura (termistor).
- Tres salidas digitales PWM para el LED RGB.
- Cuatro pines digitales para el sensor de nivel de líquido y humedad relativa con comunicación I2C.

La programación del μC se realiza en lenguaje C. La compilación y la programación en código se lleva a cabo en Arduino, que es una plataforma de electrónica de código abierto (Open Source) que cuenta con una gran variedad de bibliotecas que permiten integrar casi cualquier tipo de periférico al microcontrolador.

III.3 Sensores y acondicionamiento de señal

III.3.1 Sensor de temperatura

El termistor es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura. El término termistor proviene de Thermally Sensitive Resistor. En la figura 12 se muestra su símbolo.

Existen dos tipos:

1. NTC (Negative Temperature Coefficient) coeficiente de temperatura negativo.
2. PTC (Positive Temperature Coefficient) coeficiente de temperatura positivo.

Los elementos PTC son en los que la resistencia aumenta cuando aumenta la temperatura, y elementos NTC son en los que la resistencia disminuye cuando la aumenta la temperatura.

Ambos tipos basan su funcionamiento en la variación de la resistencia de un semiconductor con la temperatura, debido a la variación de la concentración de portadores. Para los termistores NTC al aumentar la temperatura, aumenta también la concentración de portadores, por lo que la resistencia será menor, de ahí que el coeficiente sea negativo.

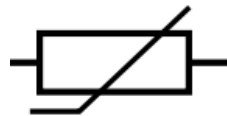


Figura 12: Símbolo del termistor.

El termistor utilizado en este trabajo de tesis se muestra en la figura 13, y corresponde al tipo NTC de 100 Ohms diseñado para medir principalmente la temperatura en líquidos debido a su recubrimiento de resina.



Figura 13: Termistor NTC de 100 Ohms.

Las características del termistor se muestran en la tabla III.

Caracterización del sensor

La variación de la resistencia con la temperatura no es lineal en los termistores. Para el caso de un termistor NTC su comportamiento es hiperbólico. En la figura 14 se muestra

Tabla III: Características del termistor NTC de 100 Ω .

Parámetro	Valor
Coefficiente	NTC
Resistencia	100 Ω
Intervalo de temperatura de operación	-55 a 250°C
Constante de tiempo térmica	1 s
Constante de disipación	-50 a 250°C
Precisión	$\pm 0.5^\circ\text{C}$

que para pequeños incrementos de temperatura, corresponden grandes variaciones en resistencia.

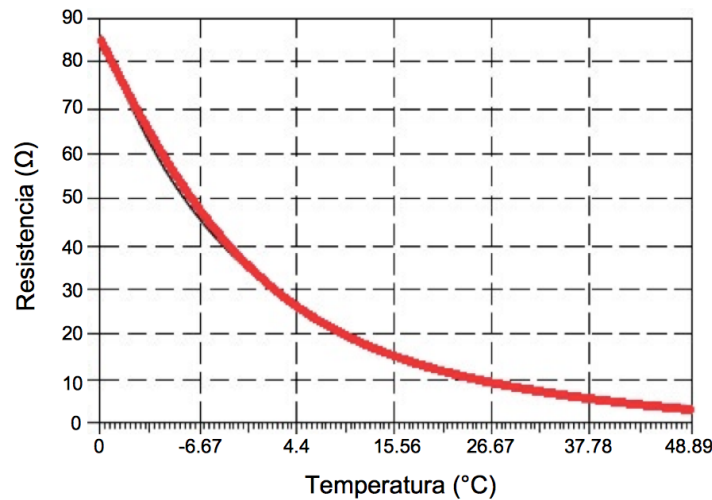


Figura 14: Curva característica del termistor NTC (Steinhart y Hart, 1968).

Para llevar a cabo la caracterización del termistor NTC de 100 Ohms, se aplica la ecuación (2), mejor conocida como la ecuación de Steinhart-Hart (Steinhart y Hart, 1968).

$$\frac{1}{T} = A + B(\ln(R_{term})) + C(\ln(R_{term}))^3. \quad (2)$$

donde:

T es la temperatura en grados Kelvin [K],

R_{term} es la resistencia en Ohms [Ω] y

A , B y C son los coeficientes de la ecuación.

Para determinar los coeficientes A , B y C de la ecuación (2), se toman los valores de resistencia y temperatura que se encuentran en la tabla IV, los cuales se obtuvieron experimentalmente. A partir de la ecuación (2) y los valores de la tabla IV para la temperatura, se plantea el sistema de ecuaciones (3):

$$\begin{aligned}\frac{1}{296.05} &= A + B(\ln(112.22)) + C(\ln(112.22))^3, \\ \frac{1}{306.15} &= A + B(\ln(90.18)) + C(\ln(90.18))^3, \\ \frac{1}{315.35} &= A + B(\ln(72.79)) + C(\ln(72.79))^3.\end{aligned}\tag{3}$$

Tabla IV: Valores de resistencia con respecto a la temperatura.

Resistencia [Ω]	Temperatura [$^{\circ}C$]	Temperatura[K]
112.22	22.9	296.05
90.18	33	306.15
72.79	42.2	315.35

El sistema de ecuaciones (3) se resuelve y se obtienen los coeficientes siguientes:

Coficiente	Valor
A	0.0031
B	-0.00019755
C	0.000011085

Por lo que, la ecuación (2) que describe el comportamiento del termistor se reescribe como:

$$\frac{1}{T} = 0.0031 - 1.9755 \times 10^{-4} \cdot (\ln(R_{term})) + 1.1085 \times 10^{-5} \cdot (\ln(R_{term}))^3 \tag{4}$$

En la figura 15, se muestra de color azul la curva resultante de la ecuación de Steinhart-Hart ajustada al termistor empleado. Las cruces rojas son las mediciones seleccionadas de la tabla IV.

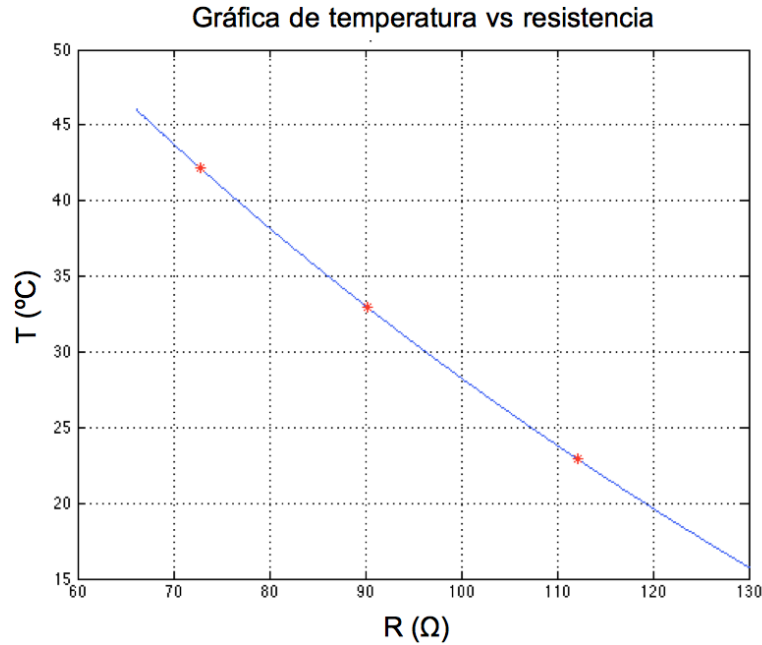


Figura 15: Curva de calibración del termistor NTC de 100 Ohms.

Para cuantificar el error que se genera de la ecuación de Steinhart-Hart con respecto a las mediciones que se toman de la tabla IV, se empleó el criterio de error de mínimos cuadrados, definido por:

$$J = \sum_{i=1}^n (y_{medida} - y_{curva})^2. \quad (5)$$

La evaluación de la ecuación (5) nos arroja un error de:

$$J = 1.43 \times 10^{-22}.$$

Demostrando que se tiene una excelente aproximación con la ecuación seleccionada.

Acondicionamiento de señal

Una vez caracterizado el termistor, es necesario un circuito que convierta las variaciones de resistencia a niveles de voltaje. Se utilizó el divisor de voltaje que se muestra en la figura 16 para tal fin.

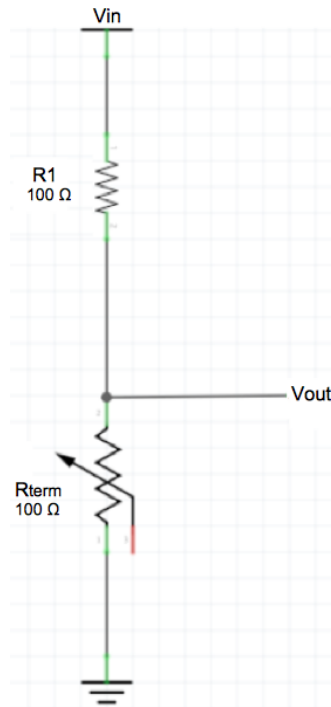


Figura 16: Circuito acondicionador de señal del termistor.

La ecuación empleada para evaluar el voltaje en el termistor es:

$$V_{out} = \frac{V_{in} \cdot R_{term}}{R_{term} + R1} \quad (6)$$

donde:

V_{out} es el voltaje de salida en el termistor [V],

V_{in} es el voltaje de alimentación [V],

$R1$ es la resistencia del divisor de voltaje [Ω] y

R_{term} es la resistencia del termistor NTC [Ω].

Despejando el término R_{term} de la ecuación (6), se obtiene que

$$R_{term} = \frac{V_{out} \cdot R1}{V_{in} - V_{out}} \quad (7)$$

Conocido el valor de la resistencia en que se encuentra el termistor en cierta condición, se puede estimar por ende el valor de la temperatura a partir de la ecuación (4).

Subrutina de lectura de temperatura

El voltaje (V_{out}) proveniente del divisor de tensión que se muestra en la figura 16, se introduce al convertidor analógico-digital de 10 bits del microcontrolador.

Una sección del código implementado para estimar el valor de la temperatura a partir el termistor NTC de 100 Ohms, se muestra a continuación:

- Definición de variables,

```
float A = 0.0031;           // coeficientes de la ecuación.
float B = -0.00019755;     // de Steinhart-Hart.
float C = 0.000011085;
float R1 = 99.0;           // resistencia del divisor de voltaje.
float Vi = 5.0;           // voltaje de alimentación.
```

- Lectura de voltaje del canal analógico A0 del microcontrolador,

```
volt_term = analogRead(A0);
```

- Operaciones de conversión para obtener la temperatura en grados centígrados,

```
bits2volt = (volt_term*5.0)/1023.0; // de bits a volts.
volt2ohm = (bits2volt*R1)/(Vi-bits2volt); // de volts a Ohms.
ohm2kel = 1.0/(A+(B*log(volt2ohm))+(C*pow(log(volt2ohm),3)));
kel2cel = ohm2kel-273.15; // de Kelvin a centígrados.
```

III.3.2 Sensor de pH

El sensor para pH utilizado en este trabajo de tesis, es un sensor electroquímico de la compañía Phidgets Inc. Viene acompañado por un módulo digital para el acondicionamiento de señal, un adaptador del sensor al módulo de acondicionamiento y tres soluciones de pH (4, 7 y 10) para la calibración.

En la figura 17, se muestra el sensor electroquímico de pH y algunas de sus características técnicas se presentan en la tabla V.



Figura 17: Sensor de pH de Atlas ScientificTM.

Tabla V: Características del sensor electroquímico de pH.

Parámetro	Valor
Intervalo de pH	0 - 14
Voltaje en pH 7	0 V
Temperatura de operación	1 - 99°C
Velocidad de respuesta	95% en 1 s
Presión máxima	100 PSI
Profundidad máxima	60 m

La ecuación (8) describe el comportamiento de los sensores de pH electroquímicos, conocida como la ecuación de Nernst (Orna y Stock, 1989):

$$E = E_0 - \frac{RT}{nF} \ln(Q), \quad (8)$$

donde:

E es el potencial medido [V],

E_0 es el potencial en condiciones estándar [V],

R es la constante de los gases [J/K·mol],

T es la temperatura absoluta [K],

n es la cantidad de mol de electrones que participan en la reacción,

F es la constante de Faraday [C/mol] y

Q es el cociente de la reacción.

A partir de la relación de Nernst (ecuación (8)), se deriva específicamente la ecuación (9) que relaciona linealmente valores de voltaje, con los valores de pH medidos:

$$E = E_0 + (0.05917)pH, \quad (9)$$

En la ecuación (9) se observa que por cada unidad de pH, el potencial cambia 59.17 mV y se establece que el potencial es igual a 0V cuando el pH es igual a 7. La relación entre el potencial del sensor y el pH se puede observar en la figura 18 (Orna y Stock, 1989). En la figura se hace evidente que la temperatura es una variable que afecta la medición del pH, tal y como se especifica en la ecuación (8).

Acondicionamiento de señal del sensor de pH

Para obtener una medición precisa para el valor de pH, se utilizó el módulo digital de acondicionamiento de señal que se presenta en la figura 19. El circuito se encarga de convertir la señal analógica del pH obtenida por el sensor a una cadena digital de caracteres. El circuito facilita realizar la calibración del sensor, lo cual se lleva a cabo introduciendo el sensor en soluciones con valores de pH 4, 7 y 10. En la figura 20, se muestran las soluciones empleadas en el proceso de calibración del sensor electroquímico

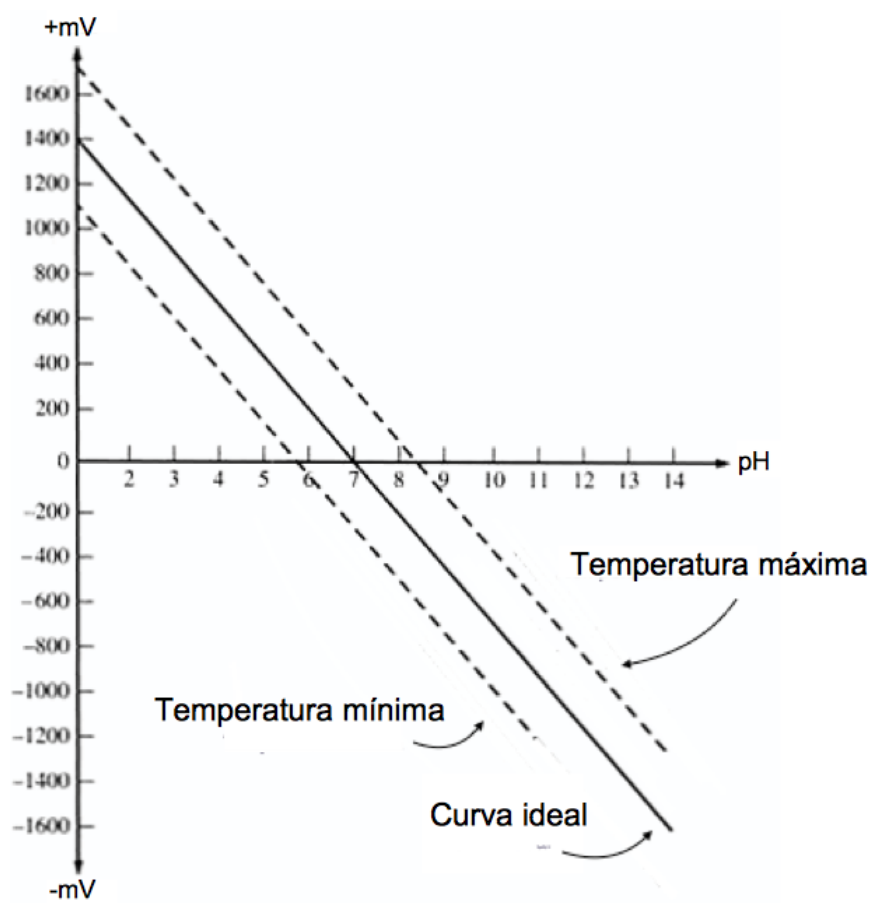


Figura 18: Relación entre potencial del sensor y el pH a 25°C (Orna y Stock, 1989)

de pH.

Algunas de las características del módulo se muestran en la tabla VI.

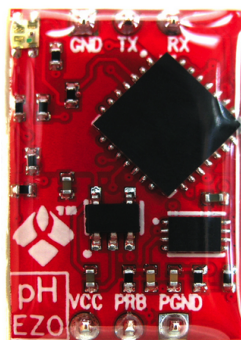


Figura 19: Módulo de acondicionamiento de señal de pH.



Figura 20: Soluciones de calibración de pH 4, 7 y 10 respectivamente.

Tabla VI: Características del módulo de acondicionamiento de señal de pH.

Parámetro	Valor
Intervalo de pH	0.001 - 14
Voltaje de operación	3.3 – 5 V
Temperatura de operación	1 - 99°C
Precisión	±0.02
Comunicación	UART e I2C

Subrutina de lectura de pH

Para comunicar el módulo de acondicionamiento de señal de pH (figura 19) con el microcontrolador, se implementa el protocolo de comunicación UART. Las lecturas

provenientes del sensor de pH se trabajan en formato ASCII.

A continuación se describe una sección del código implementado para la lectura del pH:

- Definición de variables,

```
String inputstring = "C"; //Caracter de lectura de pH.
String sensorstring = ""; // valor de pH.
boolean sensor_stringcomplete = false; //Confirmacion de
//terminacion de cadena con el valor de pH.
```

- Definición del puerto serial (Serial2) y la tasa de baudios de comunicación entre el circuito de acondicionamiento de señal y el microcontrolador,

```
Serial2.begin(38400); // baud rate.
```

- Envío del caracter “C” (modo de acceso continuo del circuito acondicionador) a través del puerto serial del microcontrolador al circuito de acondicionamiento para que responda con una cadena de caracteres que corresponde al valor de pH medido,

```
void loop() //ciclo principal.
Serial2.print(inputstring); //comando de lectura de pH.
//enviado de microcontrolador -> circuito acondicionador.
Serial2.print("\ r"); //fin de comando de lectura.
```

```
void serialEvent2() //comunicacion circuito -> microcontrolador.
char inchar = (char)Serial2.read();//dato proveniente del circuito.
Sensorstring += inchar; //concatena los caracteres del pH.
if(inchar == '\ r')
```

```
sensor_stringcomplete = true; //cadena de pH completa.  
  
if (sensor_stringcomplete)  
Serial.println(sensorstring);//muestra el valor de pH en monitor.  
sensorstring = ""; //limpia la variable.  
sensor_stringcomplete = false;//en espera de nuevo valor de pH.
```

Calibración del sensor de pH

Para realizar la calibración del sensor de pH, es necesario enviar varios comandos del microcontrolador al circuito acondicionador. A continuación se describen:

- Con el sensor fuera de cualquier solución, se envía el siguiente comando,

```
Serial2.print("Cal,clear\ r");//comando para iniciar calibración.
```

- Se sumerge el sensor a la solución de pH 7 por 5 minutos y se envía el comando,

```
Serial2.print("Cal,mid,7.00\ r");//comando de calibracion en pH 7.
```

- Se limpia el sensor con agua destilada y se sumerge a la solución de pH 4 por 5 minutos y se envía el comando,

```
Serial2.print("Cal,low,4.00\ r");//comando de calibracion en pH 4.
```

- Se limpia el sensor con agua destilada y se sumerge a la solución de pH 10 por 5 minutos y se envía el comando,

```
Serial2.print("Cal,high,10.00\ r");//comando de calibracion en pH 10.
```

III.3.3 Sensor de oxígeno disuelto

El sensor para la medición de oxígeno disuelto utilizado en este trabajo de tesis, es del tipo electroquímico de la compañía Atlas ScientificTM. El sensor viene acompañado de un módulo digital para el acondicionamiento de señal, un adaptador del sensor al circuito, y una solución para su almacenamiento.

En la figura 21, se muestra el sensor de oxígeno disuelto y algunas de sus características técnicas se presentan en la tabla VII.



Figura 21: Sensor de oxígeno disuelto de Atlas ScientificTM.

Tabla VII: Características del sensor electroquímico de oxígeno disuelto.

Parámetro	Valor
Intervalo de oxígeno	0 - 20 mg/L
Voltaje a salida	0 - 47 mV
Temperatura máxima	50°C
Velocidad de respuesta	98% en 1 minuto
Presión máxima	100 PSI
Profundidad máxima	60 m

La ecuación (10) describe el comportamiento de los sensores de oxígeno del tipo electroquímicos (Kemker, 2014).

$$i_d = \frac{4 \cdot F \cdot P_m(t) \cdot A \cdot P_{O_2}}{d}, \quad (10)$$

donde:

i_d es la corriente producida [A],

F es la constante de Faraday [C/mol],

$P_m(t)$ es la permeabilidad de la membrana en función de la temperatura [m²],

A es el área de superficie del cátodo [m²],

P_{o_2} es la presión parcial de oxígeno [Pa] y

$d =$ es el espesor de la membrana [m].

Acondicionamiento de señal del sensor de oxígeno disuelto

Para obtener lecturas de medición del oxígeno disuelto, se emplea el módulo digital de acondicionamiento de señal que se presenta en la figura 22. La función del circuito es convertir la señal analógica que se obtiene en el sensor de oxígeno disuelto, a un valor digital en formato de cadena de caracteres. El circuito permite realizar la calibración del sensor a partir de que se encuentre al aire libre.

Algunas de las características del módulo se observan en la tabla VIII.

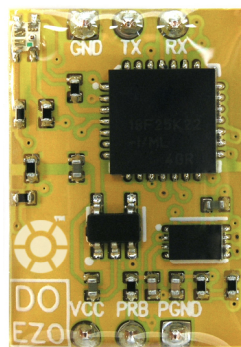


Figura 22: Módulo de acondicionamiento de señal de oxígeno disuelto.

Subrutina de lectura del oxígeno disuelto

Para comunicar el módulo de acondicionamiento de señal de oxígeno disuelto (figura 22) con el microcontrolador, se implementa el protocolo de comunicación UART, las

Tabla VIII: Características del módulo de acondicionamiento de señal de pH.

Parámetro	Valor
Intervalo de oxígeno	0.01 - 35.99 mg/L
Voltaje de operación	3.3 – 5 V
Temperatura de operación	1 - 99°C
Precisión	±0.2
Comunicación	UART e I2C

lecturas provenientes del sensor de oxígeno disuelto se trabajan en formato ASCII.

A continuación se describe una sección del código implementado para la lectura del sensor:

- Definición de variables,

```
String inputstring = "C"; //Caractér de lectura de oxígeno.
String sensorstring = ""; // valor de oxígeno.
boolean sensor_stringcomplete = false; //Confirmación de
//terminación de cadena con el valor de oxígeno.
```

- Definición del puerto serial (Serial3) y la tasa de baudios de comunicación entre el circuito de acondicionamiento de señal y el microcontrolador,

```
Serial3.begin(38400); // baud rate.
```

- Envío del carácter “C” (modo de lectura continuo del circuito acondicionador) a través del puerto serial del microcontrolador, al circuito de acondicionamiento para que responda con una cadena de caracteres que corresponde al valor del oxígeno disuelto,

```
void loop() //ciclo principal.
Serial3.print(inputstring); //comando de lectura de oxígeno.
```

```

//enviado de microcontrolador -> circuito acondicionador.
Serial3.print("\ r"); //fin de comando de lectura.

void serialEvent2() //comunicación circuito -> microcontrolador.
char inchar = (char)Serial3.read();//dato proveniente del circuito.
Sensorstring += inchar; //concatena los caracteres del oxígeno.
if(inchar == '\ r')
sensor_stringcomplete = true; //cadena de oxígeno completa.

if (sensor_stringcomplete)
Serial.println(sensorstring);//muestra el valor del oxígeno
//en monitor.
sensorstring = ""; //limpia la variable.
sensor_stringcomplete = false;//en espera de nuevo valor
//de oxígeno.

```

Calibración del sensor de oxígeno disuelto

Para realizar la calibración del sensor de oxígeno disuelto, es necesario enviar varios comandos del microcontrolador al circuito acondicionador. A continuación se describen los pasos a seguir:

- Se envía del microcontrolador al circuito acondicionador el siguiente comando para iniciar la calibración,

```
Serial3.print("Cal,clear\ r");//comando para iniciar calibracion.
```

- Se deja el sensor de oxígeno disuelto al aire libre durante 5 minutos y se envía el siguiente comando,

```
Serial3.print("Cal\ r");//comando para calibrar el sensor
// de oxígeno en el aire.
```

III.3.4 Sensor de conductividad eléctrica (EC), salinidad (S) y total de sólidos disueltos (TDS).

En este trabajo de tesis se utilizó el sensor electroquímico de la compañía Atlas ScientificTM para la conductividad eléctrica, salinidad y total de sólidos disueltos con constante $K = 10$ (intervalo de conductividad de $10 \mu\text{S}$ a 5 S). El sensor viene acompañado de un módulo digital para el acondicionamiento de señal, un adaptador del sensor al circuito acondicionador y 2 soluciones de $12,800$ y $150,000 \mu\text{S}$ para su calibración.

En la figura 23, se muestra el sensor electroquímico de EC, TDS y salinidad. Algunas de sus características técnicas se presentan en la tabla IX.



Figura 23: Sensor de EC, salinidad y TDS de Atlas ScientificTM.

Tabla IX: Características técnicas del sensor electroquímico de EC, salinidad y TDS.

Parámetro	Valor
Intervalo de EC	$10 \mu\text{S}/\text{cm} - 1 \text{ S}/\text{cm}$
Intervalo de salinidad	$0.014 - 3,285.97 \text{ ppt}$
Intervalo de TDS	$6.4 - 640,000 \text{ ppm}$
Temperatura máxima	70°C
Presión máxima	200 PSI
Profundidad máxima	60 m

El sensor mide directamente la conductividad eléctrica en cualquier solución, y de manera indirecta se hace un cálculo para estimar la salinidad y el total de sólidos disueltos. La relación entre la conductividad y la salinidad se define por la ecuación (11) (Fofonoff, 1984).

$$S = a_0 + a_1 R_t^{1/2} + a_2 R_t + a_3 R_t^{3/2} + a_4 R_t^2 + a_5 R_t^{5/2} + \Delta S, \quad (11)$$

donde ΔS es,

$$\Delta S = \left[\frac{t - 15}{1 + 0.0162(t - 15)} \right] (b_0 + b_1 R_t^{1/2} + b_2 R_t + b_3 R_t^{3/2} + b_4 R_t^2 + b_5 R_t^{5/2}), \quad (12)$$

y los valores de las constantes para salinidades de $2 < S < 42$, son:

Constante	Valor	Constante	Valor
a_0	0.0080	b_0	0.0005
a_1	-0.1692	b_1	-0.0056
a_2	25.3851	b_2	-0.0066
a_3	14.0941	b_3	-0.0375
a_4	-7.0261	b_4	0.0636
a_5	2.7081	b_5	-0.0144

donde:

$$R_t = \frac{C}{C_{KCL}}, \quad (13)$$

S es la escala práctica de salinidad [ppt],

R_t es el radio de conductividad eléctrica [m],

t es la temperatura en una solución [°C],

C es la conductividad de una muestra a una temperatura específica [S/cm] y

C_{KCL} es la conductividad de una solución de cloruro de potasio (KCL) [S/cm].

La relación entre la conductividad y el total de sólidos disueltos está dada por la siguiente ecuación (Fofonoff, 1984)

$$: TDS = 64 \times 10^4 EC, \quad (14)$$

donde:

TDS es el total de sólidos disueltos [ppm],

EC es la conductividad eléctrica [S/cm].

Acondicionamiento de señal del sensor de EC, salinidad y TDS

En la figura 24, se muestra el módulo digital de acondicionamiento de señal que se acopla para las mediciones de la EC, salinidad y TDS. Este circuito convierte la señal analógica de la EC a una señal digital en formato de cadena de caracteres. Con el circuito se realiza la calibración del sensor introduciendo el sensor a las soluciones de EC de 12,880 y 150,000 μS que se muestran en la figura 25.

Algunas de las características técnicas del módulo se presentan en la tabla X.

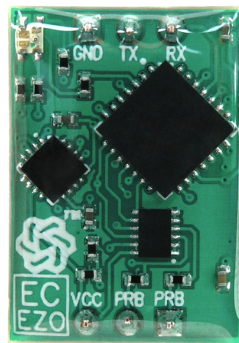


Figura 24: Módulo de acondicionamiento de señal de EC, salinidad y TDS.



Figura 25: Soluciones de EC de 12,880 y 150,00 μS .

Tabla X: Características técnicas del módulo de acondicionamiento de señal de EC, salinidad y TDS.

Parámetro	Valor
Intervalo de EC	0.07 - 500,000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Voltaje de operación	3.3 - 5 V
Temperatura de operación	1 - 99°C
Precisión	± 0.2
Comunicación	UART e I2C

Subrutina de lectura para la EC, la salinidad y el TDS

La comunicación entre el módulo de acondicionamiento de señal de EC, salinidad y TDS con el microcontrolador, es a través del protocolo de comunicación UART. Las lecturas provenientes del sensor de EC se trabajan en formato ASCII.

A continuación se describe una sección del código implementado para la lectura de la EC, salinidad y TDS:

- Definición de variables,

```
String inputstring = "C"; //Caracter de lectura de EC, salinidad
//y TDS.
String sensorstring = ""; // valor de EC, salinidad y TDS.
boolean sensor_stringcomplete = false; //Confirmación de
//terminación de cadena con el valor de EC, salinidad y TDS.
```

- Definición del puerto serial (Serial4) y la tasa de baudios de comunicación entre el circuito de acondicionamiento de señal con el microcontrolador,

```
Serial4.begin(38400); // baud rate.
```

- Envío del carácter “C” (modo de lectura continuo del circuito acondicionador) a través del puerto serial del microcontrolador al circuito de acondicionamiento para que responda con una cadena de caracteres que corresponde a los valores de la EC, salinidad y TDS,

```
void loop() //ciclo principal.
Serial4.print(inputstring); //comando de lectura de EC, salinidad.
// y TDS enviado de microcontrolador -> circuito acondicionador.
Serial4.print("\ r"); //fin de comando de lectura.
```

```

void serialEvent4() //comunicación circuito -> microcontrolador.
char inchar = (char)Serial4.read();//dato proveniente del circuito.
Sensorstring += inchar; //concatena los caracteres que corresponden
// a la EC, salinidad y TDS (EC,sal, TDS).
if(inchar == '\ r')
sensor_stringcomplete = true; //cadena con los datos completa.

if (sensor_stringcomplete)
Serial.println(sensorstring);//muestra el valor de la EC, salinidad
//y TDS en monitor.
sensorstring = ""; //limpia la variable.
sensor_stringcomplete = false;//en espera de nuevo valor
//de EC, salinidad y TDS.

```

Calibración del sensor de EC, salinidad y TDS

La calibración del sensor de EC, salinidad y TDS se lleva a cabo a través de una serie de comandos entre el microcontrolador y el circuito acondicionador. A continuación se describe la metodología a seguir:

- Envío del microcontrolador al circuito acondicionador el siguiente comando para inicio a la calibración,

```
Serial4.print("Cal,clear\ r");//comando para iniciar calibración.
```

- Se deja el sensor de EC, salinidad y TDS al aire libre durante 5 minutos y se envía el siguiente comando,

```
Serial4.print("Cal,dry\ r");//comando para calibrar el sensor.  
// de EC, salinidad y TDS en aire
```

- Se sumerge el sensor a la solución de EC de 12,880 μS por 5 minutos (verificando que no se encuentren burbujas dentro del sensor) y se envía el comando,

```
Serial4.print("Cal,low,12880\ r");//comando calibración para  
// EC = 12,880 uS.
```

- Se limpia el sensor con agua destilada y se sumerge a la solución de EC de 150,000 μS por 5 minutos (verificando que no se encuentren burbujas dentro del sensor) y se envía el comando,

```
Serial4.print("Cal,high,150000\ r");//comando calibración para  
//EC = 150,000 uS.
```

III.3.5 Sensor de humedad relativa DHT22

En este trabajo de tesis se utilizó el sensor digital de humedad relativa DHT22. El DHT22 proporciona una salida de datos digital de forma serial y viene calibrado de fábrica por lo que es de rápida integración. En la figura 26, se muestra el sensor DHT22 y las principales características técnicas se presentan en la tabla XI.

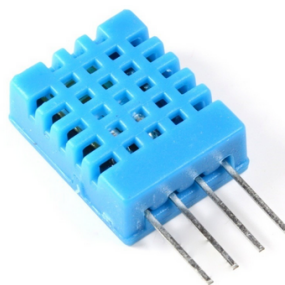


Figura 26: Sensor de humedad relativa DHT22.

Tabla XI: Características técnicas del sensor de humedad relativa DHT22.

Parámetro	Valor
Intervalo de humedad	20-90%
Intervalo de temperatura	0-50°C
Resolución	16 bits
Voltaje de operación	3.3-5 V
Repetibilidad	± 1%

Subrutina de lectura de humedad relativa

La obtención de la medición de la humedad relativa es a través de una de las entradas digitales del microcontrolador. A continuación se describe una sección del código para realizar la lectura del sensor:

- Definición de bibliotecas,

```
#include <DHT.h>           // biblioteca sensor DHT22.
#include <OneWire.h> // biblioteca comunicación 1 cable digital.
```

- Definición de variables,

```
#define DHTPIN 3      //pin de comunicación sensor.
#define DHTTYPE DHT22 //tipo de sensor=DHT 22.
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
float humedad = 0; // variable de despliegue para humedad.
```

- Inicialización del sensor,

```
dht.begin(); //inicialización del sensor.
```

- Obtención de la humedad relativa,

```

humedad = dht.readHumidity(); //humedad medida.
Serial.print(humedad); // despliegue de humedad en monitor.

```

III.3.6 Sensor ultrasónico HC-SR04

En este trabajo de tesis se utilizó el sensor digital ultrasónico HC-SR04. Este sensor se acondiciona para medir el nivel de líquido en los estanques de almacenamiento (ver subsección II.3.1). El HC-SR04 se comunica de forma serial con el microcontrolador, usando un pin como entrada y otro como salida. En la figura 27, se muestra el sensor HC-SR04 y sus principales características técnicas se muestran en la tabla XII.



Figura 27: Sensor ultrasónico HC-SR04.

Tabla XII: Características técnicas del sensor ultrasónico HC-SR04.

Parámetro	Valor
Alcance máximo	4 m
Alcance mínimo	2 cm
Ángulo de medición	15°
Frecuencia de trabajo	40 Hz
Voltaje de operación	5 V

Subrutina de lectura de nivel de líquido

La medición del nivel de líquido se deriva de una entrada y una salida digital del microcontrolador. A continuación se describe una sección del código para relizar la

lectura del sensor:

- Definición de bibliotecas,

```
#include <Wire.h> //biblioteca para comunicación serial.
```

- Definición de variables,

```
const int Echo = 9; // definimos pin de eco.
```

```
const int Trig = 8; // definimos pin de disparo.
```

```
unsigned int duration; // duracion de la onda.
```

```
float cm = 0.00; // variable de distancia en cm.
```

```
pinMode(Echo,INPUT); // pin de entrada.
```

```
pinMode(Trig,OUTPUT); // pin de salida.
```

- Cálculo de duración de pulso,

```
digitalWrite(Trig,LOW); // se envia un bajo al sensor.
```

```
delayMicroseconds(2); // retardo de 2us.
```

```
digitalWrite(Trig,HIGH); //se envia un alto al sensor.
```

```
delayMicroseconds(10); //retardo de 10us.
```

```
digitalWrite(Trig,LOW); //se envia un bajo al sensor.
```

```
duration = pulseIn(Echo,HIGH); // tiempo en que regresa señal.
```

- Cálculo del nivel de líquido,

```
cm = duration / 57.97; // distancia medida.
```

```
Serial.print(); //despliegue de distancia en monitor.
```

III.4 Pantalla LCD 20×4

Las mediciones que efectúa el instrumento desarrollado en este trabajo se despliegan en una pantalla de cristal líquido (LCD). En este trabajo de tesis se utiliza una pantalla LCD de 20×4 pixeles con comunicación I2C. En la figura 28, se muestra la pantalla LCD utilizada. La información que despliega la LCD del instrumento es:

- Números de teléfonos celulares a donde se envían alertas.
- Mediciones de oxígeno, temperatura, pH, EC, salinidad, conductividad, TDS, humedad relativa y nivel de líquido.
- Valores mínimo y máximo de las variables medidas.

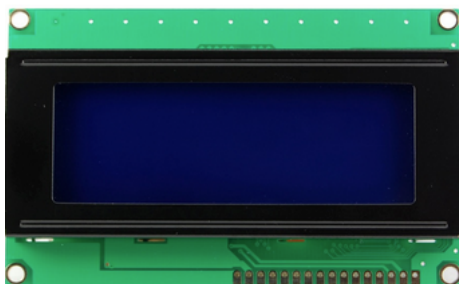


Figura 28: Pantalla LCD 20×4.

Subrutina de escritura en la pantalla (LCD)

Una sección del código para el despliegue de la información en la pantalla (LCD), se muestra a continuación:

- Definición de bibliotecas,

```
#include <Wire.h> // biblioteca para la comunicación serial.  
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // biblioteca pantalla LCD.
```

- Dirección de la pantalla y el tamaño de la misma,

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); //dirección 0x27
// para una pantalla de 20x4.
```

- Inicialización de pantalla LCD,

```
lcd.init(); //inicializa la pantalla.
lcd.backlight(); //luz de fondo.
```

- Indicación de la ubicación del pixel donde inicia la medición que se quiere desplegar,

```
lcd.setCursor(2,2); // ubicacion del pixel.
lcd.print(salinidad,1); //despliega la salinidad con un decimal.
```

III.5 Teclado matricial 4×4

En la figura 29, se muestra el teclado matricial de 4×4 (16 teclas) utilizado en este trabajo de tesis. El objetivo del teclado es permitir el acceso al menú principal del instrumento que permite manipular la siguiente información:

- Números de teléfonos celulares a donde se envían alertas.
- Valores mínimo y máximo de las variables medidas.
- Cambio de clave de acceso a menú.
- Inicio de calibración del sensor de pH y de oxígeno disuelto.



Figura 29: Teclado matricial de 4x4.

Subrutina de lectura del teclado

La comunicación entre el teclado matricial y el microcontrolador, se efectúa a partir de los siguientes comandos:

- Definición de bibliotecas,

```
#include <Keypad.h> //biblioteca para el teclado.
```

- Definición del tamaño de columnas y filas del teclado, así como el orden y caracteres que se interpretan del teclado,

```
const byte ROWS = 4; // cuatro filas.
```

```
const byte COLS = 4; //cuatro columnas.
```

```
char hexaKeys[ROWS][COLS] =
```

```
  '1','2','3','A',
```

```
  '4','5','6','B',
```

```
'7', '8', '9', 'C',
'.', '0', '#', 'D'
```

- Definición de entradas digitales que el microcontrolador asignará al teclado,

```
byte rowPins[ROWS] = 50, 51, 52, 53; //4 entradas para las filas.
byte colPins[COLS] = 40, 41, 42, 43; //4 entradas para las columnas.
```

- Obtención del valor de la tecla que se pulsa,

```
tecla = customKeypad.getKey();//obtiene el valor de la tecla pulsada.
```

III.6 Alertas preventivas

Una de las principales características del sistema de monitoreo de variables físico-químicas desarrollado e implementado en este trabajo de tesis es el recurso de alertas preventivas. Las alertas preventivas son de gran importancia ya que su función son la de preveer algún evento no deseado donde se esté llevando a cabo un proceso de cultivo acuícola. Son dos tipos de alertas implementadas en el instrumento. Una de ellas consiste en una señalización visual a través de un LED RGB que permite de manera *in situ* verificar la existencia de un riesgo en el proceso. El segundo tipo de alerta consta del envío de mensajes a teléfonos celulares con la medición de la variable que por algún motivo se salió de su intervalo pre-establecido.

III.6.1 LED RGB

El objetivo del diodo emisor de luz RGB, es el de ser una alerta visual de operación en el dispositivo. Es práctico y útil visualizar el estado en que se encuentra el proceso de cultivo a partir de observar el color de iluminación del LED. El diodo tiene 1 pin para

cada color (rojo, verde y azul) y un pin de tierra. En la figura 30, se muestra el LED RGB que se utilizó en este trabajo de tesis.



Figura 30: LED RGB.

En la figura 31, se muestra el código de color ligado al estado que guarda el proceso de cultivo, el cual en principio usa los mismos colores de un semáforo.

Color	Estado
Rojo	Peligro
Verde	Óptimo
Amarillo	Precaución

Figura 31: Relación del color del LED RGB respecto al estado del proceso.

Subrutina de encendido dels LED RGB

El encendido del LED RGB, bajo los diferentes colores de operación de lleva a cabo a partir de los siguientes comandos:

- Definición de entradas,

```
int rojo = 11; //pin digital para color rojo.
int verde = 10; //pin digital para color verde.
int azul = 9; //pin digital para color azul.
```

- Definición de salidas,

```
pinMode(rojo, OUTPUT); //pin de salida.  
pinMode(verde, OUTPUT); // pin de salida.  
pinMode(azul, OUTPUT); //pin de salida.
```

- Encendido del color deseado,

```
// Color verde  
analogWrite(rojo, 0);  
analogWrite(verde, 255);  
analogWrite(azul, 0);  
//color amarillo  
analogWrite(rojo, 255);  
analogWrite(verde, 255);  
analogWrite(azul, 0);  
//color rojo  
analogWrite(rojo, 255);  
analogWrite(verde, 0);  
analogWrite(azul, 0);
```

III.6.2 Mensajes de texto a celular

Los mensajes de texto a los números de teléfonos celulares registrados en el instrumento de monitoreo, pueden ser utilizados como alertas remotas para los usuarios a cargo del proceso de cultivo acuícola. Dado que se utiliza la red de telefonía celular, es posible enviar mensajes de texto a cualquier parte del país o del mundo, ya que el instrumento tiene la opción de agregar números de teléfono celular con cualquier lada nacional o internacional. En la figura 32, se observan algunos ejemplos de mensajes de texto

que se pueden enviar a los teléfonos celulares respectivos. Los primeros dos mensajes corresponden por ejemplo, a la medición de la temperatura y el pH en un intervalo de 8 horas (forma de monitoreo). Los últimos dos, se deben al pH en el instante en que su medición salió del intervalo pre-establecido por el usuario (forma de alerta).

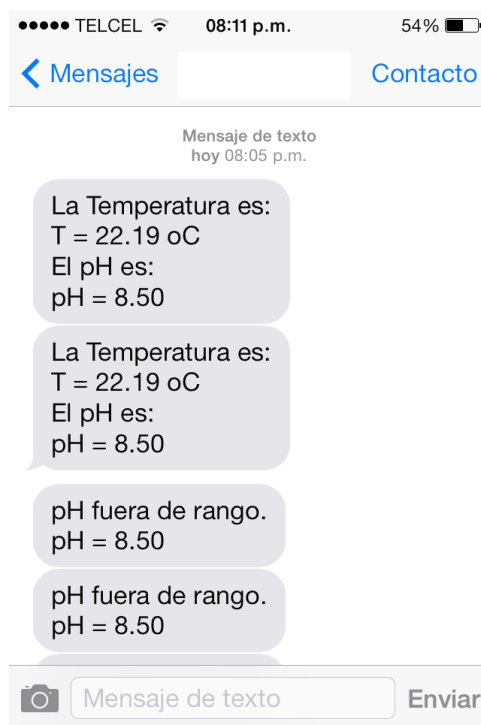


Figura 32: Ejemplos de mensajes de texto enviados a teléfonos celulares.

Módulo GSM

En este trabajo de tesis se utilizó el módulo GSM de la compañía SeeedStudio. Este módulo permite insertar un chip de cualquier compañía de teléfono celular y mandar mensajes de texto o realizar llamadas a otros teléfonos celulares por medio de comandos AT (comandos para configurar y parametrizar módems). El módulo se muestra en la figura 33 y sus principales características técnicas se describen en la tabla XIII.



Figura 33: Módulo GSM.

Tabla XIII: Características técnicas del módulo GSM/GRPS.

Parámetro	Valor
Frecuencias soportadas	850/900/1800/1900 MHz
Interfaz de comunicación	UART, Software serial
Temperatura de operación	-40 a 85°C
Voltaje de operación	5 V

Subrutina de envío de mensajes de texto a celular

El envío de mensajes de texto a cualquier número de teléfono celular registrado en el instrumento de monitoreo, se lleva a cabo a partir de los siguientes comandos:

- Definición de bibliotecas,

```
#include <SoftwareSerial.h> // biblioteca para el módulo.
#include <String.h> //biblioteca para escribir cadenas de texto.
```

- Definición de pines,

```
SoftwareSerial mySerial(7, 8); // pines 7 y 8 digitales.
```

- Definición del puerto serial (mySerial) y la tasa de baudios de comunicación entre el módulo GSM y el microcontrolador,

```
mySerial.begin(19200); // baud rate.
```

- Comandos AT para enviar mensaje de texto,

```
mySerial.print("AT+CMGF=1");//comando AT en modo de mensaje
//de texto.
delay(100); // retardo de 100 ms.
mySerial.println("AT + CMGS = "+526461417238"");//numero de
//teléfono celular.
delay(100);// retardo de 100 ms.
mySerial.println("mensaje de texto");//contenido del mensaje
//de texto.
delay(100); // retardo de 100 ms.
mySerial.println((char)26);//codigo ASCII para ctrl+Z
// (terminación de linea).
delay(100); // retardo de 100 ms.
```

III.7 Resumen

En este capítulo se presentó una descripción del sistema de monitoreo multiparámetro desarrollado e implementado en este trabajo de tesis, se describe cada componente que lo conforma, resaltando sus principales características eléctricas y se muestra además los códigos básicos para su programación. Se realza la importancia de implementar el μC ATmega2560, debido a que la gran mayoría de los componentes utilizados se comunican con el μC digitalmente. El ATmega2560 cuenta con los recursos (de procesamiento, de comunicación, entrada y salida de datos, etc.) suficientes para llevar a cabo las funciones de diseño del dispositivo.

Se plantea la gran potencialidad que ofrece el instrumento desarrollado, basado en las distintas formas de monitoreo (*in situ* y remotas) en aplicaciones diversas.

Capítulo IV

Comunicación inalámbrica e interfaz gráfica

Las tecnologías inalámbricas son aquellas que dependen para su funcionamiento de ondas de radio (RF, 3 Hz - 3 GHz), de microondas (300 MHz - 300 GHz) y pulsos de luz infrarroja (IR, 800 nm - 100 μ m de longitud de onda) para transportar datos sin cables entre dispositivos de comunicación (Jurgens *et al.*, 2008). En cuanto a su alcance se pueden distinguir los siguientes tipos de red:

- **Wireless Personal Area Network (WPAN):** Es una red para la comunicación entre distintos dispositivos (ordenadores, puntos de acceso a internet, teléfonos móviles, asistente digital personal [PDA, por sus siglas en inglés], dispositivos de audio, impresoras, etc.) cercanas al punto de acceso. Estas redes normalmente son de unos pocos metros de alcance y de uso personal. Entre las distintas tecnologías de WPAN destacan Bluetooth (2.4 GHz) y ZigBee (2.4 GHz).
- **Wireless Local Area Network (WLAN):** Es un sistema de comunicación de datos inalámbrico flexible muy utilizado como alternativa de redes LAN cableadas o como extensión de éstas. Utiliza tecnología de microondas que permite mayor movilidad a los usuarios al minimizar las conexiones cableadas. La tecnología asociada a esta forma de red es Wi-Fi (2.4 y 5 GHz).
- **Wireless Metropolitan Area Network (WMAN):** Es una red de alta velocidad dando cobertura en un área geográfica extensa, proporciona capacidad de integración de múltiples servicios mediante la transmisión de datos, voz y video,

sobre medios de transmisión inalámbricos. Destacadas tecnologías asociadas son WiMax (2.3 - 3.5 GHz).

- **Wireless Wide Area Network (WWAN):** Corresponde a redes celulares para telefonía móvil y transmisión de datos, tales como el sistema global para las comunicaciones móviles (GSM, tecnología móvil 2G) y Sistema universal de telecomunicaciones móviles (UTMS por sus siglas en inglés, tecnología móvil 3G)

IV.1 Módulos de comunicación inalámbrica XBee

Los módulos XBee trabajan bajo el protocolo de comunicaciones inalámbrico ZigBee, basado en el estándar de comunicaciones para redes inalámbricas IEE 802.15.4. ZigBee permite que muchos dispositivos de bajo consumo puedan realizar sus comunicaciones inalámbricas. Es especialmente útil para redes de sensores en entornos industriales, médicos y domóticos (Oyarce, 2010).

Las comunicaciones ZigBee se realizan en la banda libre de 2.4 GHz. A diferencia de bluetooth, este protocolo no utiliza FHSS (Frequency hopping), sino que realiza las comunicaciones a través de una única frecuencia, es decir, de un canal. Normalmente puede escogerse un canal de 16 posibles (2.405 - 2.480 GHz). El alcance depende de la potencia de transmisión del dispositivo, así como del tipo de antenas utilizadas (cerámicas, dipolos, etc). El alcance normal con antena dipolo en línea de vista es aproximadamente (tomando como ejemplo el caso de Maxstream, en la versión de 1 mW de potencia) de 100 m y en interiores de 30 m. La velocidad de transmisión de datos de una red ZigBee es de hasta 256 kbit/s. Una red ZigBee la pueden formar, teóricamente, hasta 65535 equipos, es decir, el protocolo está preparado para poder controlar en la misma red esta cantidad enorme de dispositivos (Gislason, 2008).

Entre las necesidades que satisface el módulo XBee se encuentran:

- Bajo costo.
- Ultra-bajo consumo de potencia.
- Uso de bandas de radio libres y sin necesidad de licencias.
- Instalación económica y simple.
- Redes flexibles y extensibles.

El uso del protocolo ZigBee es tan versátil que puede simplemente reemplazar un cable para generar una comunicación serial inalámbrica, hasta el desarrollo de configuraciones punto a punto, multipunto, peer to peer (todo los nodos conectados entre sí) o redes complejas de sensores. Una conexión típica se muestra en la figura 34, donde se observa que cada módulo XBee posee algún tipo de sensor. Los módulos entregan los datos para ser enviados a través de la red utilizando el protocolo de comunicación ZigBee a un centro que administre la información.

En este trabajo de tesis, para llevar a cabo la comunicación inalámbrica entre el dispositivo de monitoreo y una computadora remota se implementó el módulo XBee PRO S1 con protocolo de comunicación ZigBee que se muestra en la figura 35. Sus principales características técnicas se describen en la tabla XIV.

Tabla XIV: Características del módulo XBee PRO S1.

Parámetro	Valor
Voltaje de operación	3.3 V
Frecuencia de trabajo	2.4 GHz
Máxima potencia de transmisión	60 mW
Máximo alcance a línea de vista	1600 m
Tipo de antena	PCB

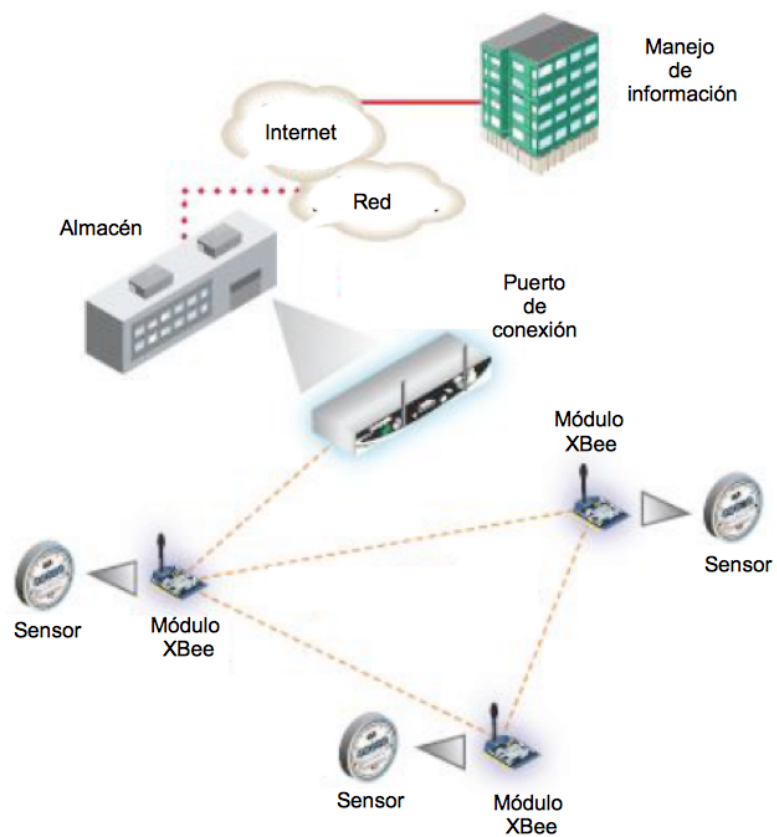


Figura 34: Conexión típica usando módulos XBee (Oyarce, 2010).



Figura 35: XBee PRO S1.

En la figura 36, se presenta la conexión básica para establecer una comunicación inalámbrica entre varios módulos XBee. En la figura 36 se observa que es necesario un voltaje de alimentación de 3.3 V, conexión a tierra (GND) y los pines de comunicación serial (Tx y Rx).

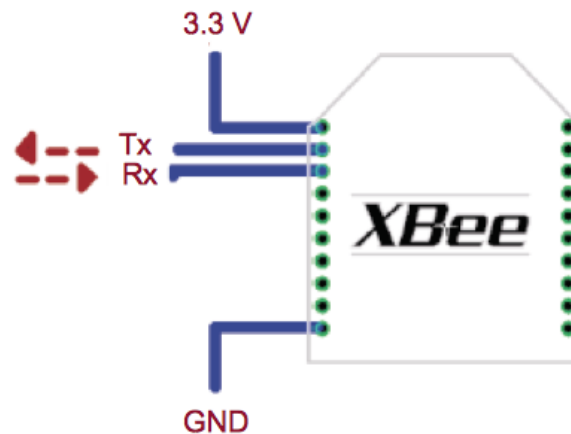


Figura 36: Diagrama de conexión básica del XBee PRO S1.

El módulo XBee Pro S1 cuenta con dos modos de transmisión de datos:

- **Modo transparente:** Este modo de transmisión está destinado principalmente a la comunicación punto a punto, donde no es necesario ningún tipo de control. También se usa para reemplazar alguna conexión serial por cable, ya que es la configuración más sencilla posible y no requiere mayor configuración. En este modo, la información es recibida por el pin 3 (Rx) del módulo XBee y se guarda en el buffer de entrada. Dependiendo de como se configure el módulo, es posible transmitir información apenas llegue un carácter, o después de un tiempo dado sin recibir ningún carácter serial por el pin 3. En ese momento se toma lo que se tenga en el buffer de entrada, se empaqueta, es decir, se integra a un paquete de datos y se transmite por RF.
- **Modo API (Application Programming Interface):** Este modo de transmisión es más complejo, pero permite el uso de tramas con cabeceras que aseguran la

entrega de datos, al estilo TCP (Transmission Control Protocol). En este modo se extiende el nivel al cual se puede interactuar con las capacidades de red del módulo. Cuando el módulo XBee se encuentra en éste modo, toda información que entra y sale, es empaquetada en tramas, que definen operaciones y eventos dentro del módulo. Una trama de transmisión de información incluye:

- Trama de información RF transmitida.
- Trama de comandos.

Mientras que una trama de recepción de información incluye:

- Trama de información RF recibida.
- Comando de respuesta.
- Notificaciones de eventos como reset, asociaciones o disociaciones de módulos.

El modo **API**, provee alternativas para la configuración del módulo y ruteo de la información en la capa de aplicación del usuario. Un usuario puede enviar información al módulo XBee, estos datos serán contenidos en una trama cuya cabecera tendrá información útil referente al módulo.

Entre las opciones que permite API, se tienen:

- Transmitir información a múltiples destinatarios, sin entrar al modo de comandos.
- Recibir estado éxito/falla de cada paquete RF transmitido.
- Identificar la dirección de origen de cada paquete recibido.

Los instrumentos de monitoreo desarrollados en este trabajo de tesis se configuran bajo el esquema del modo **API** para transmitir información entre el instrumento hacia la computadora remota. Una de las razones en elegir este modo de transmisión de datos es debido a que normalmente las empresas acuícolas tienen varios estanques donde tienen cultivos, bajo estas condiciones el modo API se ajusta para desarrollar una red de sensores de tal forma que cada estanque cuente con un instrumento de monitoreo dotado de comunicación inalámbrica.

Para interconectar el módulo emisor XBee PRO S1 con el Arduino mega 2560 se utiliza el adaptador que se muestra en la figura 37. Este adaptador permite la comunicación serial entre el microcontrolador y el módulo XBee, para que los datos se envíen inalámbricamente a una computadora remota.

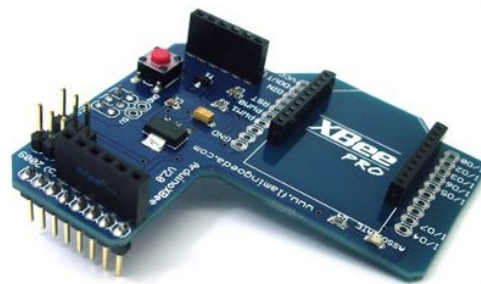


Figura 37: Adaptador para XBee PRO S1 con Arduino mega 2560.

Finalmente, para interconectar el módulo receptor XBee PRO S1 con la computadora remota se utiliza el dongle que se muestra en la figura 38. El dongle se conecta directamente en un puerto USB de la computadora para que ésta reciba los datos transmitidos del dispositivo de monitoreo multiparámetro.

IV.1.1 Subrutina de envío de datos

En esta sección se describe el programa para el envío de datos del dispositivo de monitoreo hacia la computadora remota. El microcontrolador y el módulo XBee PRO

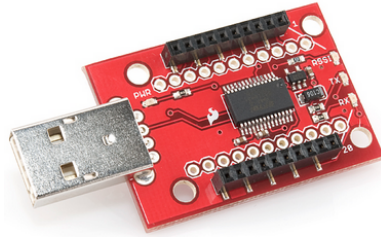


Figura 38: Dongle para XBee PRO S1.

S1, se comunican a través de un puerto serial. El envío de datos se da a partir de la siguiente secuencia:

- Definición del puerto serial y la tasa de baudios de comunicación entre el μC y el módulo XBee:

```
Serial.begin(9600); // baud rate
```

- Envío de la trama que contiene el valor de: temperatura, pH, oxígeno, EC, salinidad, TDS, humedad y nivel de líquido:

```
Serial.write(126); // delimitador de inicio
Serial.write(0); // primer byte para tamaño de la trama
Serial.write(19); // tamaño de trama 19 bytes
Serial.write(0); // trama tipo API
Serial.write(0); // no espera respuesta del receptor
Serial.write(0); // 1er byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(19); // 2do byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(162); // 3er byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(0); // 4to byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(64); // 5to byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(146); // 6to byte de direccion del XBee receptor
```

```
Serial.write(149); // 7mo byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(209); // 8vo byte de direccion del XBee receptor
Serial.write(0); // byte de ACK
Serial.write(temp); // temperatura
Serial.write(pH); // pH
Serial.write(oxigeno); // oxígeno
Serial.write(EC); // conductividad eléctrica
Serial.write(sal); // salinidad
Serial.write(tds); // TDS
Serial.write(humedad); // humedad
Serial.write(nivel); // nivel de líquido
Serial.write(checksum); // suma de verificación
```

IV.2 Interfaz gráfica con el usuario

La interfaz gráfica (GUI - Graphical User Interface), es el medio a través del cual el usuario interactúa con el programa o sistema operativo de una computadora. Una GUI contiene diferentes gráficos tales como: botones, campos de texto, menús, gráficos, etc. Existen diferentes lenguajes de programación que permiten crear una GUI tales como: C, Visual Basic, TK, entre otros. Todos ellos permiten usar diferentes controles y maneras de programarlos. MATLAB permite realizar GUI's de una manera sencilla utilizando la herramienta GUIDE (Graphical User Interface Development Environment).

IV.2.1 Interfaz gráfica desarrollada

Para visualizar de manera gráfica los datos provenientes del dispositivo de monitoreo multiparámetro desarrollado en este trabajo de tesis, se desarrolla una interfaz gráfica

(veáse figura 39) en la computadora remota mediante la herramienta MATLAB GUIDE.

La interfaz se desarrolla de tal manera que:

- Gráfica por separado: temperatura, pH, oxígeno, EC, salinidad, TDS, humedad relativa y el nivel de líquido en el estanque de almacenamiento.
- Permite la selección del puerto serial de la PC para conectar el dongle con el módulo de comunicación inalámbrica XBee.
- Genera archivos de texto (.txt) de almacenamiento con los datos de las variables, etiquetadas con fecha y hora en que se efectuó la medición.
- Inicia la captura de datos, a través de un botón virtual.
- Finaliza la capura de datos, a través de un botón virtual.

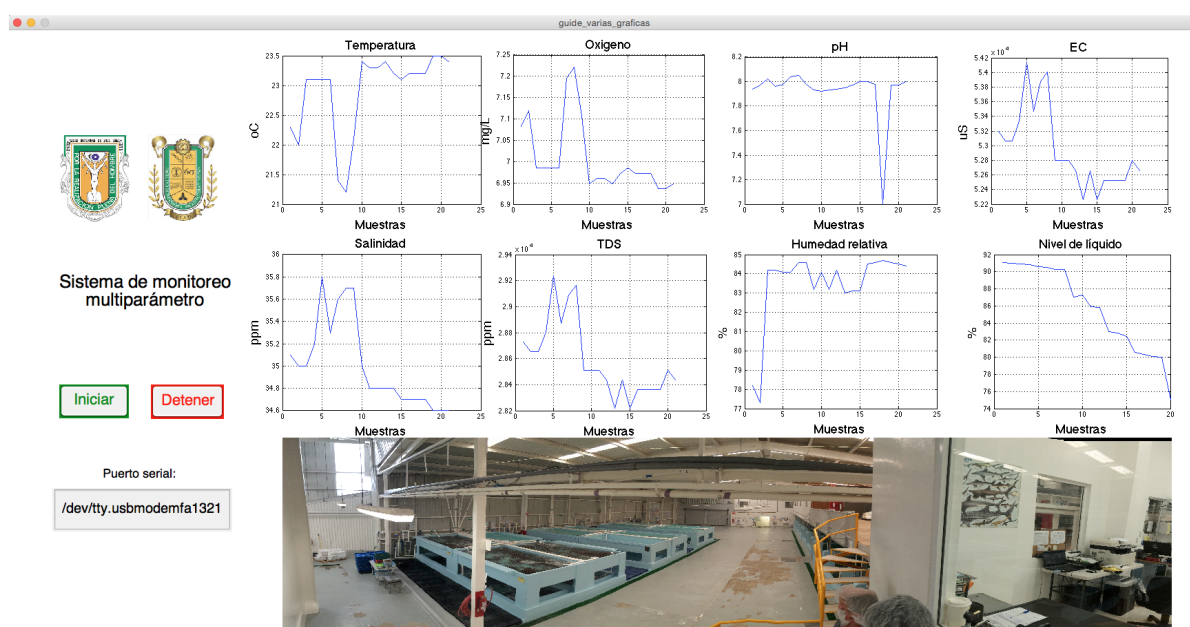


Figura 39: Interfaz gráfica en una PC remota.

El archivo de texto (.txt) tiene el formato que aparece en la figura 40. De izquierda a derecha las columnas representan la fecha, hora, pH, temperatura, oxígeno, EC,

salinidad, TDS, humedad relativa y nivel de líquido respectivamente. Acorde a los requerimientos de la empresa donde se instalaron los instrumentos de monitoreo, los datos de las variables se toman cada diez minutos por la computadora remota.

Fecha	Hora	pH	temp	oxi	EC	sal	TDS	hum	niv
04-Dec-2014	17:10:58	7.94	22.3	7.08	53199	35.1	28727	78.2	91.1
04-Dec-2014	17:20:58	7.97	22.0	7.11	53065	35.0	28655	77.3	91.0
04-Dec-2014	17:30:58	7.96	23.1	6.98	53065	35.0	28655	84.2	90.9
04-Dec-2014	17:40:58	8.02	23.1	6.98	53334	35.2	28800	84.2	90.8
04-Dec-2014	17:50:58	7.98	23.1	6.98	54141	35.8	29236	84.1	90.6
04-Dec-2014	18:00:58	8.04	23.1	6.98	53469	35.3	28873	84.1	90.5
04-Dec-2014	18:10:58	8.05	21.4	7.19	53872	35.6	29091	84.6	90.3
04-Dec-2014	18:20:58	7.98	21.2	7.22	54007	35.7	29164	84.6	90.3
04-Dec-2014	18:30:58	7.93	22.1	7.10	52795	35.7	28509	83.2	87.0
04-Dec-2014	18:40:58	7.92	23.4	6.94	52795	35.0	28509	84.1	87.3
04-Dec-2014	18:50:58	7.93	23.3	6.96	52795	34.8	28509	83.2	85.9
04-Dec-2014	19:00:58	7.94	23.3	6.96	52660	34.8	28436	84.2	85.8
04-Dec-2014	19:10:58	7.95	23.4	6.94	52260	34.8	28220	83.0	83.0
04-Dec-2014	19:20:58	7.97	23.2	6.97	52660	34.8	28436	83.1	82.8
04-Dec-2014	19:30:58	8.00	23.1	6.98	52260	34.7	28220	83.1	82.4
04-Dec-2014	19:40:58	8.00	23.2	6.97	52525	34.7	28364	84.5	80.6
04-Dec-2014	19:50:58	7.98	23.2	6.97	52525	34.7	28364	84.6	80.3
04-Dec-2014	20:00:58	7.00	23.2	6.97	52525	34.7	28364	84.7	80.1
04-Dec-2014	20:10:58	7.97	23.5	6.93	52525	34.6	28364	84.6	80.0
04-Dec-2014	20:20:58	7.97	23.5	6.93	52795	34.6	28509	84.5	75.0
04-Dec-2014	20:30:58	8.00	23.4	6.94	52660	34.6	28436	84.4	75.0

Figura 40: Archivo de texto generado por la interfaz gráfica.

Subrutina de recepción de datos

La recepción de los datos provenientes del dispositivo de monitoreo en la PC remota, se lleva a cabo a través de la siguiente secuencia:

- Configuración del puerto serial de entrada en la computadora remota:

```
PS = serial('/dev/tty.usbserial-DA011GEA'); %puerto serial de PC
```

```
PS = serial('Baudrate',9600); %baud rate igual que el XBee
```

```
PS = serial('StopBits',1); %1 bit de parada
```

```
PS = serial('DataBits',8); %8 bits de datos
```

```
PS = serial('Parity','none'); %sin paridad
```

- Lectura de los datos del puerto serial y se asignación a distintas variables para separar los valores de cada parámetro:

```
direccion = fread(PS,15); % dirección del xbee transmisor
temperatura = fread(PS,1) % dato de la temperatura
pH = fread(PS,1); % dato del pH
oxigeno = fread(PS,1) % dato del oxigeno
EC = fread(PS,1); % dato de la EC
sal = fread(PS,1) % dato de la salinidad
TDS = fread(PS,1); % dato del TDS
humedad = fread(PS,1) % dato de la humedad
nivel = fread(PS,1); % dato del nivel
fin = fread(PS,1); % byte de fin de trama
```

IV.3 Resumen

En este capítulo se describió la utilidad de los módulos XBee PRO S1 como solución para transmitir datos de forma inalámbrica hacia una computadora remota. Se mencionaron los modos de operación con los que se puede trabajar y lo recomendable para cada uno de ellos. Se presentaron los adaptadores de interconexión de los módulos XBee con la computadora remota y con la tarjeta Arduino, demostrando que es viable trabajar con este tipo de módulos ya que existen herramientas “Open Source” suficientes para solucionar problemas diversos de instrumentación con comunicación inalámbrica. Se describió de manera general la estructura de la subrutina básica que se programa en el microcontrolador para enviar datos a través del XBee en modo API. Finalmente, se mencionó la herramienta MATLAB GUIDE utilizada para desarrollar el entorno gráfico en la computadora remota y se presentó la subrutina para leer los datos provenientes del XBee transmisor.

Capítulo V

Contador optoelectrónico de peces

Dada la naturaleza de los procesos de cultivo y manipulación de los peces (producto), uno de los principales problemas que se presentan en las granjas piscícolas es la manera en que se contabilizan y determinan algunas características físicas de las especies de peces que se cultivan. Actualmente muchas de éstas actividades se llevan a cabo de manera manual, lo que provoca estrés y maltrato a los peces, ocasionando con ello una alteración en el producto.

Resulta complicado y complejo tener una buena clasificación por tallas de los peces cultivados para ser ubicados en estanques adecuados para su correcto desarrollo (Pulido y Rodríguez, 2013), así como conocer el número exacto de peces cultivados. Adicionalmente la comercialización se complica al desconocer de manera precisa la cantidad de producto vivo con el que se cuenta.

En la literatura se pueden encontrar diversos trabajos relacionados con el conteo de peces, algunos utilizan el procesamiento de imágenes por medio de métodos que aplican redes neuronales artificiales (Zheng y Zhang, 2010; Cadieux *et al.*, 2000), y otros a través de circuitería electrónica con sensores infrarrojos que detectan las siluetas de los peces (Newbury *et al.*, 1995).

En el mercado actual existen diferentes dispositivos para el conteo de peces, se basan generalmente en un proceso de reconocimiento de imágenes, o emplean electrodos resistivos. Estos aparatos son muy costosos y en muchos casos inaccesibles para los productores locales, además, si se logra adquirir uno de estos dispositivos, generalmente

se crea un vínculo de dependencia tecnológica con el extranjero. Bajo éste panorama, como segunda etapa del presente trabajo de tesis, se plantea el diseño de un sistema contador optoelectrónico automático de peces que se adapte a las necesidades del acuacultor regional y nacional, y con varias ventajas de innovación tecnológica con respecto a lo reportado en el estado del arte actual. El sistema propuesto despliega en tiempo real la cantidad de peces en una pantalla táctil al momento de estarse efectuando el conteo, transmite de manera inalámbrica los datos a una computadora para su registro, y además, a través de una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW facilita la supervisión remota de proceso conteo de peces.

V.1 Descripción general del sistema propuesto

El contador automático de peces consta de varios componentes integrados. La idea central de la operatividad del contador parte del direccionamiento de los peces por un ducto de sección transversal circular. Sobre el ducto, se acopla un arreglo optoelectrónico a fin de generar una barrera luminosa en toda su sección transversal. Cada vez que un pez cruza la barrera luminosa es contabilizado. El sistema está diseñado para el conteo de alevines de Tilapia Roja (*Oreochromis Mossambicus*) de entre 8 a 14 mm de longitud.

En la etapa de conteo y acorde a las condiciones del entorno del sistema, es necesario hacer un acondicionamiento de la señal generada por el arreglo optoelectrónico. La señal optoelectrónica de salida se procesa con el microcontrolador Atmega2560 descrito en la sección III.2.

El manejo propio del contador se lleva acabo en un panel de control a través de una pantalla táctil, en donde se despliega *in situ* y en tiempo real el conteo de peces y el tiempo transcurrido del conteo. El sistema cuenta con dos módulos de transmisión inalámbrica de datos, que utilizan el estándar de comunicación IEEE 802.15.4 descrito

en el capítulo IV. El módulo que se encuentra en el microcontrolador se configura como “*end device*”, y el módulo que se encuentra en la computadora remota se configura como *coordinador*.

Se desarrolla una interfaz gráfica con el software LabVIEW en una computadora, que permite visualizar en tiempo real el conteo de peces en un intervalo de tiempo transcurrido.

En la figura 41 se muestra a través de un diagrama a bloques la operatividad de la parte electrónica del sistema. De arriba hacia abajo, como primer bloque se encuentra el arreglo optoelectrónico que envía una señal al microcontrolador, que a su vez está en comunicación con la pantalla táctil. Después de que el microcontrolador registra el conteo, envía el dato al transmisor inalámbrico. Una vez que el receptor capta la señal proveniente del transmisor, la envía a una computadora remota que tiene una interfaz gráfica para desplegar el dato del conteo y el tiempo transcurrido.

V.2 Arreglo optoelectrónico

El arreglo optoelectrónico que se acopla en el ducto por donde se redireccionan los peces, es un sensor óptico que está compuesto de un led infrarrojo IR383 y un fototransistor PT1302B/C2, ambos de 5 mm de diámetro. El led infrarrojo se muestra en la figura 42 y algunas de sus características se indican en la tabla XV.

Tabla XV: Características del led infrarrojo IR383.

Parámetro	Valor
Corriente continua directa	100 mA
Temperatura de operación	−40 a 80°C
Longitud de onda pico	940 nm
Ángulo de visión	20°

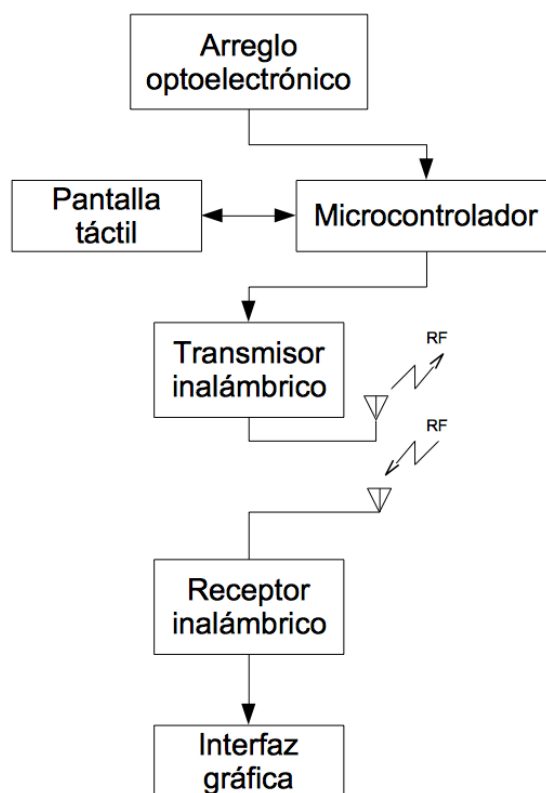


Figura 41: Diagrama a bloques de la operatividad de la parte electrónica del sistema contador de peces.

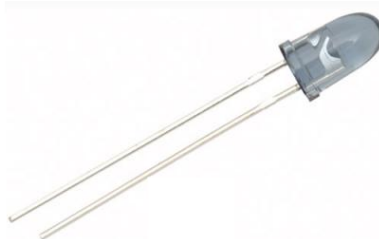


Figura 42: Led infrarrojo IR383.

El fototransistor se presenta en la figura 43 y algunas de sus características se indican en la tabla XVI.

Tabla XVI: Características del fototransistor PT1302B/C2.

Parámetro	Valor
Corriente de colector	20 mA
voltaje colector-emisor	5 V
Longitud de onda pico	980 nm
Temperatura de operación	-25 a 85°C
Velocidad de respuesta	15 μ s



Figura 43: Fototransistor PT1302B/C2.

El arreglo optoelectrónico formado por el led infrarrojo y el fototransistor se alojan en un ducto de sección transversal circular, tal y como se muestra en la figura 44. En la zona donde se aloja el arreglo optoelectrónico y una vez en operación, se forma una barrera de luz en toda la sección transversal del ducto. Cada vez que un pez pasa por la barrera de luz infrarroja, se da una interrupción entre el led y el fototransistor, lo que permite al sistema contabilizar el número de interrupciones que son equivalentes al número de peces que pasan de un lado hacia otro.

Para que el sistema optoelectrónico opere de forma adecuada, es necesario activar primeramente el led infrarrojo. Este emite una radiación de una longitud promedio de 940 nm que llegan al fototransistor ubicado frente a él (ver figura 44). En esta región, cuando no está presente el pez, los rayos alcanzarán el umbral de disparo del fototransistor y entra en su estado de conducción generando un nivel de voltaje menor

a 5 V (su polarización proviene de un regulador de 5 V). Por otro lado, cuando en esta región se encuentra un pez, los rayos infrarrojos son obstaculizados y no alcanzarán a llegar al fototransistor teniendo a la salida un voltaje de 0 V.

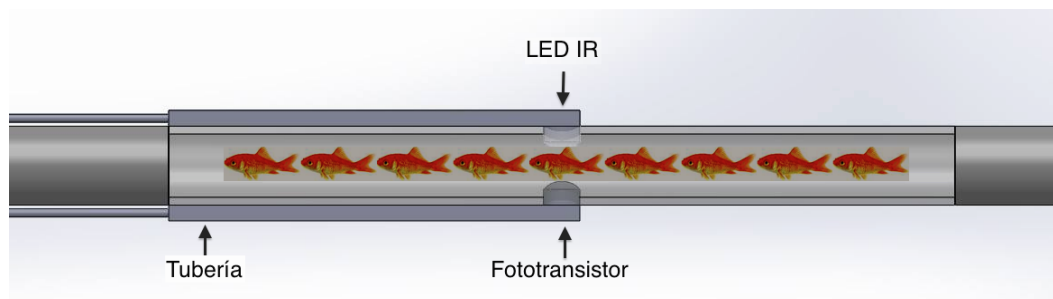


Figura 44: Ducto de sección transversal circular con un sistema optoelectrónico integrado.

Acorde a las variables del entorno del sistema contador, tales como: la distancia de separación entre el led infrarrojo y el fototransistor, los índices de refracción del entorno, así como propiamente el medio acuoso, el conteo en el microcontrolador se hace por medio de una interrupción externa y en ocasiones el voltaje de salida del fototransistor no es el suficiente para ser considerado un "1" lógico. Por estos motivos se redirecciona la señal del fototransistor a un amplificador operacional en configuración de comparador. De esta manera se deja fijo cierto nivel de voltaje de referencia específico para que a la salida del comparador se tengan niveles de voltaje de 0 o 5V según sea el caso, lo que corresponde a la entrada del microcontrolador como un "0" o un "1" lógico respectivamente (Huang, 2014).

En la figura 45, se presenta el circuito optoelectrónico correspondiente a los sensores infrarrojos y a la etapa del acondicionamiento de la señal. V_o , es la señal de entrada al microcontrolador para ser procesada.

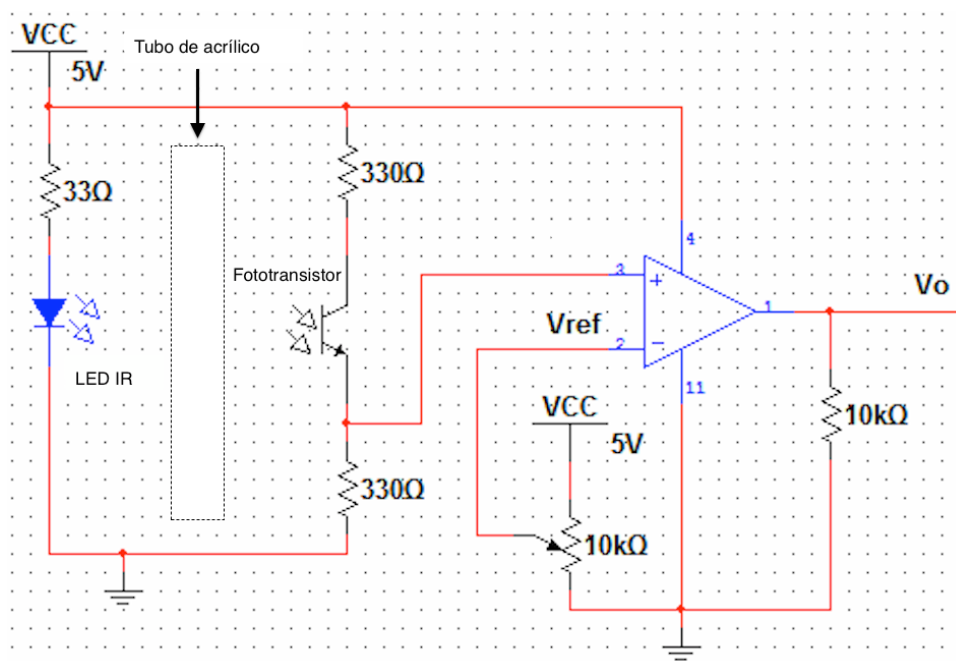


Figura 45: Circuito optoelectrónico de sensores infrarrojos y acondicionamiento de señal.

V.3 Pantalla táctil ILI9341

La pantalla táctil permite a partir de un toque directo sobre su superficie se ingresen datos u órdenes al sistema contador. Estas pantallas se han vuelto muy populares, especialmente en los dispositivos móviles. Hay una clara evidencia de los beneficios que se tienen al interactuar con este tipo de dispositivos (Kaaresoja *et al.*, 2011). Según la tecnología que manejen, hay dos tipos de uso habitual: resistivas y capacitivas.

En este trabajo se utiliza una pantalla táctil del tipo resistiva. Cuando se presiona su superficie, dos de sus capas internas entran en contacto en el punto específico de presión, así se produce un cambio en la corriente eléctrica que pasa por ella, lo cual permite ubicar en donde fue presionada a partir de la medición de su resistencia e incluso se puede calcular la presión que se ejerce en la misma. En la figura 46 se muestra la pantalla táctil implementada en este trabajo de tesis y en la tabla XVII se presentan

algunas de sus principales características técnicas.



Figura 46: Pantalla táctil tipo resistiva ILI9341.

Tabla XVII: Características de la pantalla táctil.

Parámetro	Valor
Tamaño de pantalla	2.8 in
Total de colores	256K
Píxeles	240 x 320
Voltaje de operación	5 V
Corriente de operación	250 mA
Tipo de comunicación	SPI

V.4 Comunicación inalámbrica del contador de peces

La etapa de comunicación inalámbrica con la que consta el contador, se basa en el estándar IEEE 802.15.4 descrito en el capítulo IV. En este trabajo de tesis se implementaron dos módulos de transmisión inalámbrica de datos del tipo XBee Pro S1 que se presentan como una solución inalámbrica para comunicar el sistema contador de peces con una computadora remota. Los módulos se configuraron en el modo de transmisión **punto a punto**, el módulo XBee que se encuentra en el contador es

configurado como “*end device*” y el que se encuentra en la computadora remota es configurado como *coordinador*.

V.5 Programa principal en el microcontrolador

Se integra el microcontrolador Atmega2560 para llevar a cabo el procesamiento de la señal “Vo” proveniente del sensor optoelectrónico (ver figura 45). Una de las características de este microcontrolador que se ajusta bien al diseño e implementación del contador, es que cuenta con 4 puertos de comunicación seriales y dado que la pantalla táctil y los dispositivos XBee utilizan este tipo de comunicación con el microcontrolador, es de suma importancia contar con al menos dos puertos de comunicación serial.

En la figura 47, se muestra el diagrama de flujo del programa embebido en el microcontrolador y que básicamente ejecuta la secuencia siguiente:

1. Despliega en la pantalla táctil el número de peces contados, el tiempo transcurrido y las opciones de reiniciar o detener el contador.
2. Cada vez que un pez provoque una interrupción de los rayos infrarrojos que inciden sobre el fototransistor, se genera una interrupción externa en el microcontrolador para que este lleve la cuenta de las interrupciones, que al final se traduce en el número de peces contabilizados.
3. El microcontrolador envía el dato del número de peces y el tiempo trascurrido por el puerto serial a uno de los módulos que está configurado como “*end device*”.

La programación embebida se realiza en lenguaje C. La compilación y la carga del código se lleva a cabo en la plataforma Arduino.

A continuación se describe el código implementado en el contador de peces:

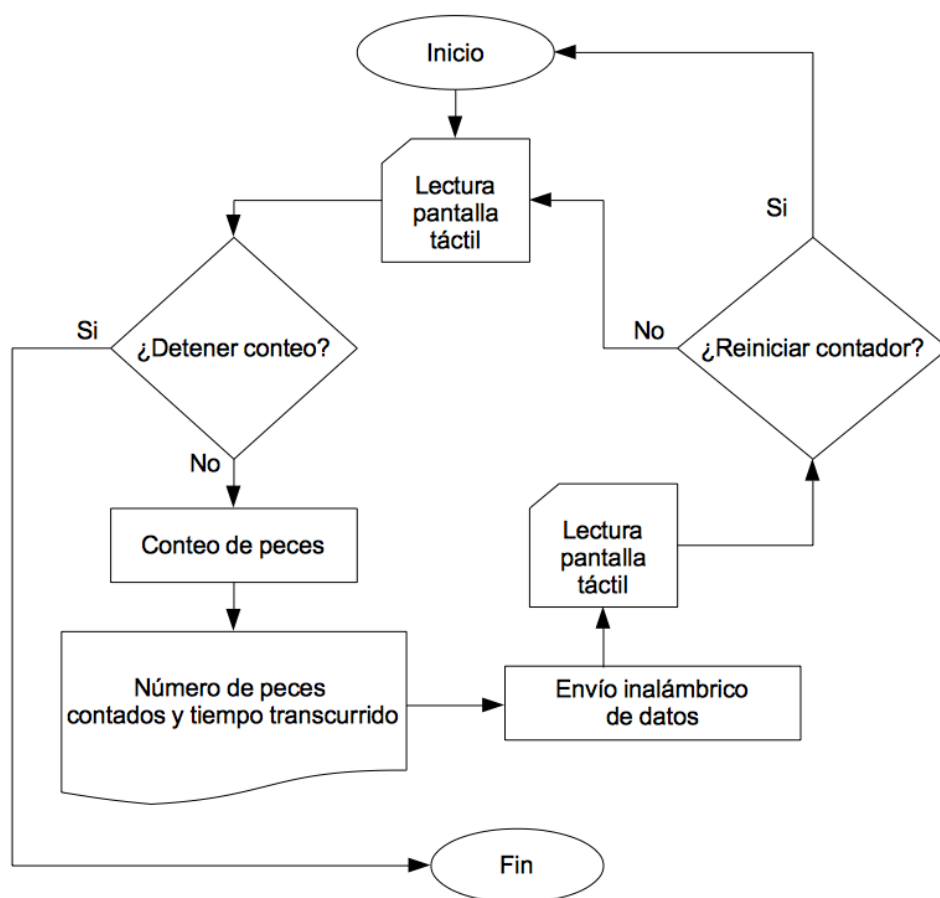


Figura 47: Diagrama de flujo del programa principal en el microcontrolador.

- Declaración de las bibliotecas que se utilizan en el programa, que en este caso corresponden la pantalla táctil:

```
#include <stdint.h>
#include <SeedTouchScreen.h>
#include <TFTv2.h>
#include <SPI.h>
```

- Configuración de la velocidad de comunicación del puerto serial (*baudrate*) del microcontrolador. Encendido e inicialización de la pantalla táctil:

```
Serial.begin(9600); // Configuración de velocidad del puerto serial
FT_BL_ON;          // Encendido de la pantalla táctil
Tft.TFTinit();     // Inicialización de la pantalla táctil
```

- Despliegue en la pantalla táctil del número de peces contabilizados y el tiempo transcurrido:

```
Tft.drawFloat(contador, 92, 60,3, RED);
Tft.drawFloat(tiempo, 92, 140,3, RED);
```

- Envío del número de peces y el tiempo transcurrido a través de los módulos XBee:

```
Serial.print(contador);
Serial.print(tiempo);
```

V.6 Interfaz gráfica de la computadora remota

Se desarrolla un interfaz gráfica para un usuario final a partir del software LabVIEW.

La interfaz gráfica desarrollada se instala en una computadora remota, es de manejo

amigable y permite una manera confiable de visualizar el conteo de peces. La interfaz gráfica despliega la información proveniente del XBee configurado como “end device” que se refiere al número de peces contabilizados y el tiempo transcurrido.

En la figura 48 se muestra una imagen del código en diagrama de bloques desarrollado en LabVIEW y corresponde particularmente a la etapa de comunicación serial del dispositivo XBee con la PC remota.

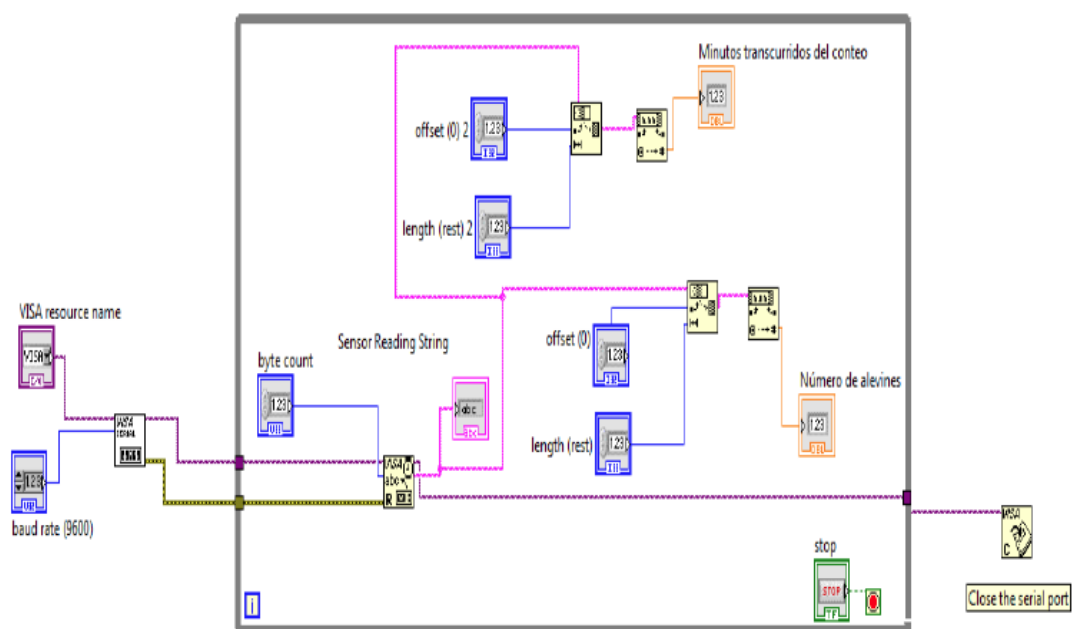


Figura 48: Diagrama a bloques de la comunicación serial entre XBee y PC.

De manera general, la sección izquierda de la figura 48 afuera del recuadro gris, corresponde al buffer de entrada de datos, el cual es configurado de tal forma, que detecte al dispositivo que está conectado al puerto serial de la PC. La cadena de caracteres que proviene del microcontrolador se divide en dos, una corresponde a los datos del conteo de peces y la otra corresponde al tiempo de conteo transcurrido del conteo. Estas cadenas al ser de tipo carácter, se convierten a un valor numérico, el cual es desplegado para su visualización en el panel frontal. El panel frontal de la interfaz

gráfica desarrollada se ilustra en la figura 49 y en él se visualiza el video del estanque de cultivo, el número de peces contados y el tiempo transcurrido del conteo.



Figura 49: Panel frontal de la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

V.7 Sistema integrado

En la figura 50 se muestra la integración del sistema para el conteo de peces desarrollado en este trabajo de tesis. El sistema está compuesto por dos estanques de agua a desnivel de flujo continuo e interconectados por un ducto de acrílico transparente de 1.5 cm de diámetro y 20 cm de longitud. En el espesor del ducto de acrílico se aloja el arreglo de sensores infrarrojos. Aprovechando el flujo continuo de agua dada la caída por gravedad, es que se redireccionan los peces a pasar a través de la barrera de luz infrarroja, a fin de ser contabilizados. Al momento de que el fototransistor detecta una interrupción de luz infrarroja, se envía la señal a la etapa de acondicionamiento para que el microcontrolador contabilice la interrupción. El número de interrupciones equivale al conteo de peces y es desplegado en la pantalla táctil. Este dato junto con el tiempo transcurrido del conteo, son transmitidos de forma inalámbrica a una

computadora remota a través del dispositivo XBee que está configurado como “*end device*”. La computadora de uso remoto en la que se encuentra la interfaz gráfica, está interconectada con otro dispositivo XBee que se encuentra configurado como *coordinador* y actúa como receptor. En la interfaz gráfica se despliegan los dos datos importantes del sistema:

1. El conteo de peces.
2. El tiempo transcurrido en el proceso de conteo.

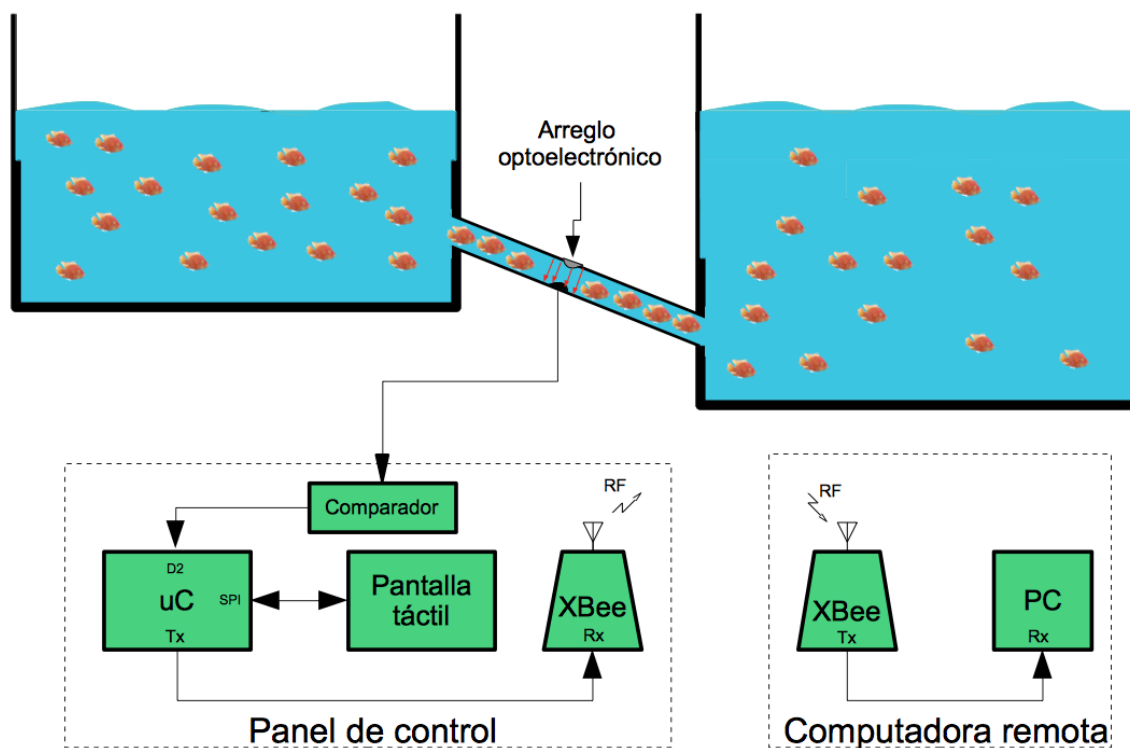


Figura 50: Sistema contador de peces integrado.

V.8 Resumen

En este capítulo se presentó el diseño de un sistema contador optoelectrónico automático de peces. Se puede observar que el sistema se vale de un principio físico de caída de agua

por gravedad, al que se le integra tecnología de vanguardia para contribuir a la solución de una necesidad actual y real, presente en los procesos de cultivo y comercialización de diferentes especies en acuicultura. El sistema desarrollado es autónomo y no invasivo, lo que permite adaptarlo para diferentes especies marinas, en sus diferentes etapas de crecimiento. Así mismo, es de fácil implementación, manejo y de bajo costo, lo que lo hace atractivo para las empresas, laboratorios regionales o nacionales dedicados a la acuicultura.

Capítulo VI

Resultados

En este capítulo se presentan los resultados derivados de este trabajo de tesis, a partir de imágenes y gráficas del sistema de medición multiparámetro y los distintos instrumentos que se desarrollaron. Se muestran imágenes comparativas entre los instrumentos desarrollados en este trabajo e instrumentos comerciales conocidos. También se presentan imágenes del mantenimiento dado a los sensores de temperatura y pH instalados en la empresa Productos Oceánica.

VI.1 Instrumentos de monitoreo desarrollados

A lo largo de este trabajo, se desarrollaron e implementaron diferentes instrumentos de monitoreo de variables físico-químicas para realizar diversas mediciones en los estanques de cultivo, en las diferentes etapas del proceso de producción de la almeja generosa, de la empresa Productos Oceánica.

VI.1.1 Medidor de temperatura y pH

En una primera etapa se diseñó y construyó un medidor de temperatura y pH (ver figura 51) instalado en la empresa Productos Oceánica. En la figura 51, se observa que las mediciones de temperatura y pH se despliegan en una pantalla LCD, y se muestra el teclado matricial que es el medio de acceso al menú principal del instrumento. En la misma figura, se observa del lado derecho del instrumento implementado, un medidor de temperatura comercial y se hace notar que la medición del instrumento implementado producto de este trabajo de tesis es de 18.3°C , mientras que la del instrumento comercial

es de 18°C. Por lo que, la medición del instrumento desarrollado ofrece mayor resolución que la del instrumento comercial.



Figura 51: Prototipo del medidor de pH y temperatura instalado en la empresa Productos Oceánica.

En la figura 52, se presenta una versión actualizada con respecto al primer diseño mostrado en la figura 51. El instrumento mejorado incluye las mediciones de temperatura y pH que son parte central de este proyecto, y se adicionan las mediciones del amonio ionizado (NH_4), amonio desionizado (NH_3) y amonio nitrogenado total (TAN). Todos los datos de las variables correspondientes se despliegan en el mismo instrumento haciendo de este un dispositivo de medición multiparámetro, con potencialidad en aplicaciones diversas.

Dentro de las diferencias del prototipo que se muestra en la figura 51 y el dispositivo de la figura 52, se encuentra la eliminación del teclado matricial, debido a que los valores

de configuración se encuentran de inicio predefinidos en el instrumento. Una diferencia notable es la caja hermética que impide el paso de la humedad del entorno hacia el interior de la circuitería del dispositivo, este aspecto es de suma importancia por las condiciones ambientales a las que se ven expuestos estos instrumentos.



Figura 52: Medidor de pH y temperatura.

En la figura 53, se observa la lectura del pH que despliegan el instrumento desarrollado en este trabajo de tesis en relación con un pH-metro comercial. En la figura se aprecia la similitud entre en las mediciones que arrojan los instrumentos.

El dispositivo de medición multiparámetro requiere de un mantenimiento preventivo con relación al cultivo de la especie marina de interés. El instrumento se instaló en el



Figura 53: Comparación de mediciones de pH entre el dispositivo multiparámetro y un pH-metro comercial.

cultivo de la almeja generosa y después de un mes de instalado en la empresa Productos Oceánica, se procedió a efectuar un mantenimiento principalmente en el sensor de pH, producto del ambiente real de cultivo. La membrana del sensor se cubre de sedimento del alimento y desecho de la almeja generosa como se puede apreciar en las figuras 54 y 55.

El mantenimiento preventivo que se lleva a cabo sobre el dispositivo mutiparámetro es directamente sobre los sensores de pH y temperatura. El mantenimiento en el sensor de pH consiste básicamente en una limpieza sobre su membrana. Para el sensor de temperatura solo se requiere una limpieza con agua destilada. En la figura 56, se muestra el lavado de ambos sensores.

Una vez limpio de sedimentos la membrana del sensor de pH, se procede a su calibración, como se indicó en la subsección III.3.2. En la figura 57 se muestran el

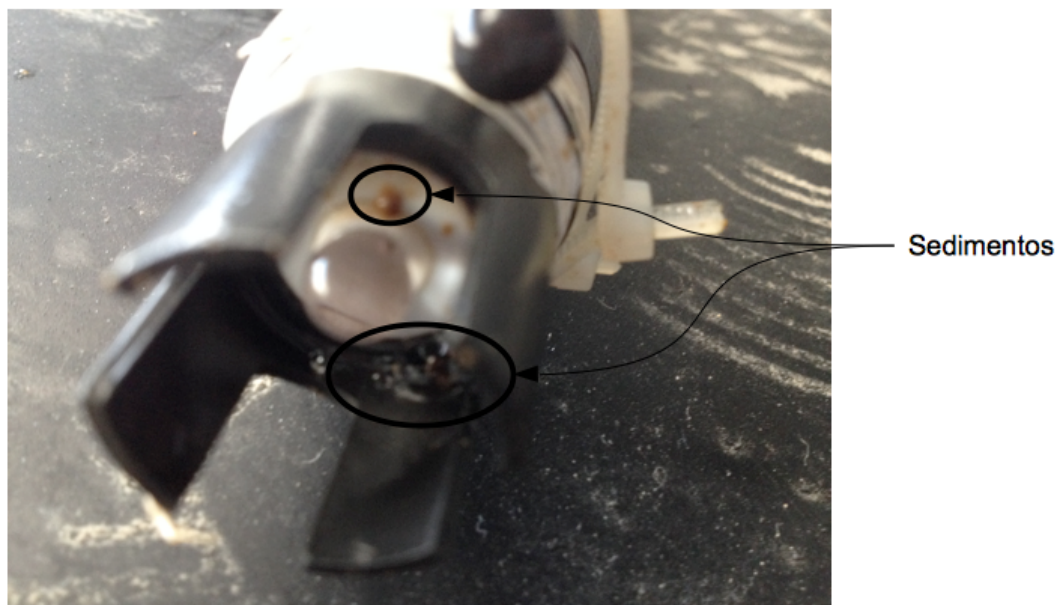


Figura 54: Membrana del sensor de pH con sedimento de comida y desechos de almeja generosa.

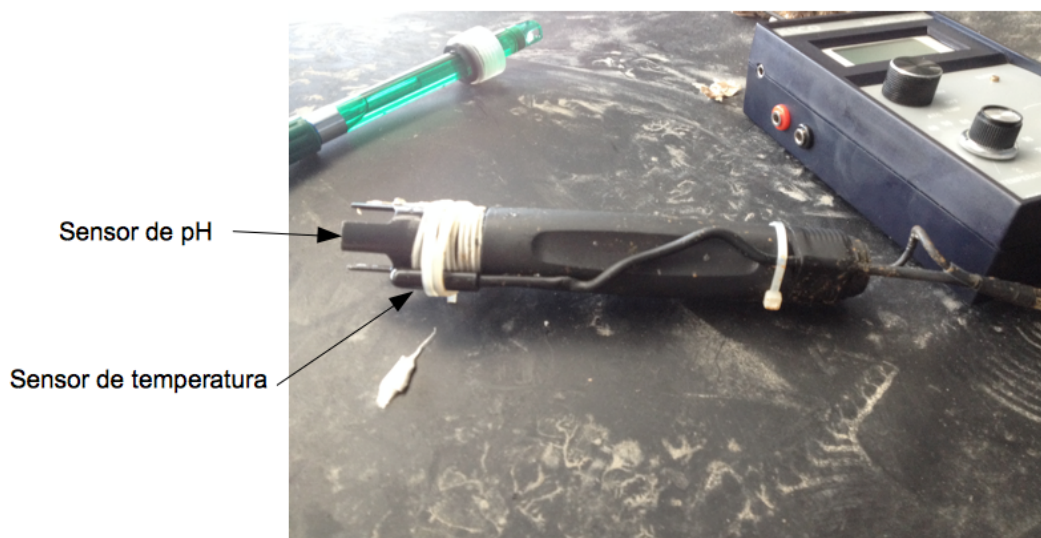


Figura 55: Sensor de temperatura y pH con sedimentos.



Figura 56: Limpieza del sensor de pH y sensor de temperatura con agua destilada.

tipo de tinas donde se desarrolla el cultivo de almeja generosa y en la figura 58 se observa el cultivo de la almeja a los dos meses de crecimiento.

Dada la versatilidad y potencialidad del instrumento de medición multiparámetro desarrollado en este trabajo de tesis, el dispositivo se instaló en pilas de almacenamiento de langosta roja, que al igual que para el cultivo de almeja generosa, las variables de pH y temperatura son de importancia básica para mantener a la langosta en buen estado. En la figura 59 se aprecian el tipo de pilas donde se almacena la langosta roja. En la figura 60 se muestra el dispositivo instalado.

VI.1.2 Medidor de temperatura y oxígeno disuelto

Se diseñó e implementó un instrumento de medición de temperatura y oxígeno disuelto cuyas pruebas iniciales se efectuaron en la Unidad de Biotecnología y Piscicultura de la UABC (UBP) donde se cultiva totoaba (True, 2012). En la figura 61 se muestra un estanque que contiene totoaba en su etapa larvaria. En la figura 62 se muestra el primer



Figura 57: Tinas de cultivo de almeja generosa (con autorización de la empresa Productos Oceánica).

prototipo desarrollado. El instrumento cuenta con un teclado matricial para acceder al menú del usuario y una pantalla LCD para desplegar las mediciones de la temperatura y oxígeno disuelto. Específicamente el instrumento se instaló a la intemperie de la UBP donde se alojan las totoabas reproductoras.

En la figura 63 se muestra una comparación entre la medición de temperatura y el oxígeno disuelto del instrumento implementado con respecto a un instrumento comercial.

En la figura 64, se muestra el instrumento final para la medición de temperatura y oxígeno disuelto. Una de sus principales diferencias respecto a los prototipos anteriores, es la caja hermética que impide el paso de la humedad hacia la circuitería del dispositivo.



Figura 58: Cultivo de almeja generosa, a dos meses de crecimiento (con autorización de la empresa Productos Oceánica).

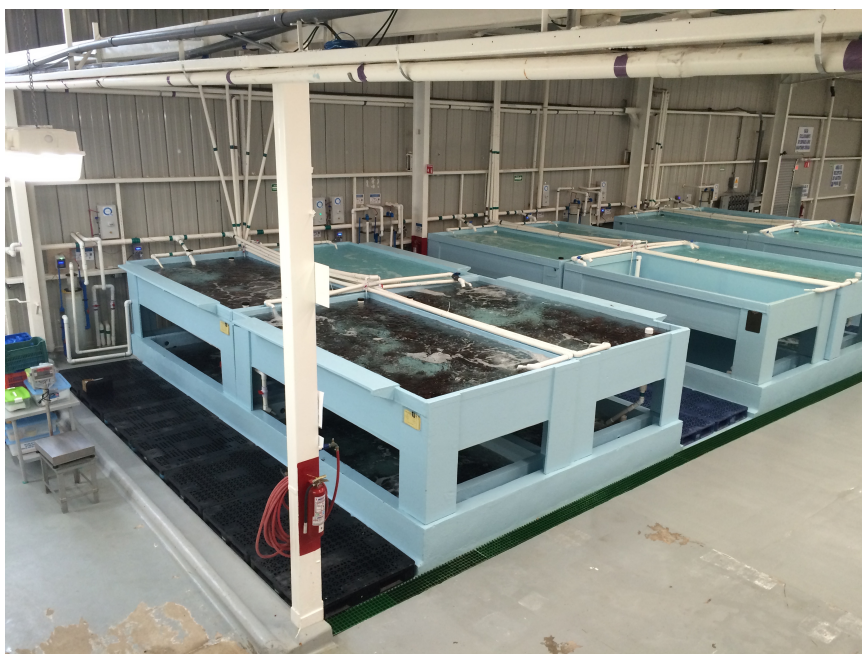


Figura 59: Pilas de almacenamiento de langosta roja.

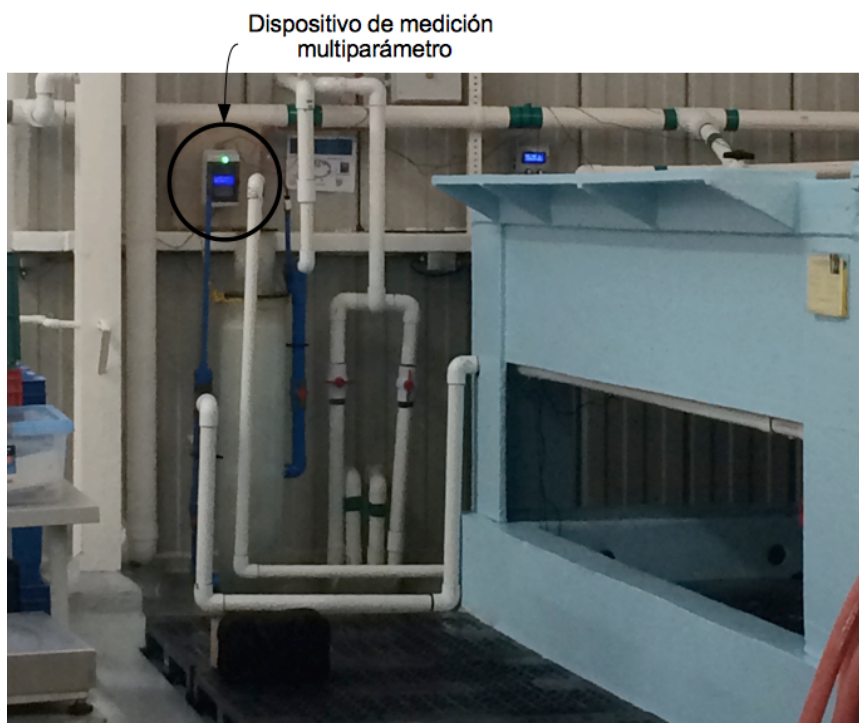


Figura 60: Instrumento de medición de pH.

VI.1.3 Medidor de humedad relativa

En la figura 65, se muestra un instrumento de medición de humedad relativa y temperatura. En la imagen se aprecia el dispositivo y el sensor (color azul) en una de las paredes de una pecera. En este caso el instrumento no incluye una pantalla LCD ya que las mediciones se envían de manera inalámbrica a través de un módulo XBee hacia una computadora remota.

VI.1.4 Medidor de nivel de líquido

En la figura 66, se muestra una maqueta en operación de un instrumento de medición de nivel de líquido. En la figura 67, se observa con más detalle el tipo de información que despliega el instrumento. En la pantalla LCD se observa el valor en porcentaje relativo al nivel de líquido. Un valor del 100% corresponde a un tanque con su nivel máximo de agua y cuando indica 0% corresponde a un tanque vacío. El instrumento



Figura 61: Estanque de cultivo de totoaba.



Figura 62: Prototipo del medidor de temperatura y oxígeno instalado en la UBP de la UABC.

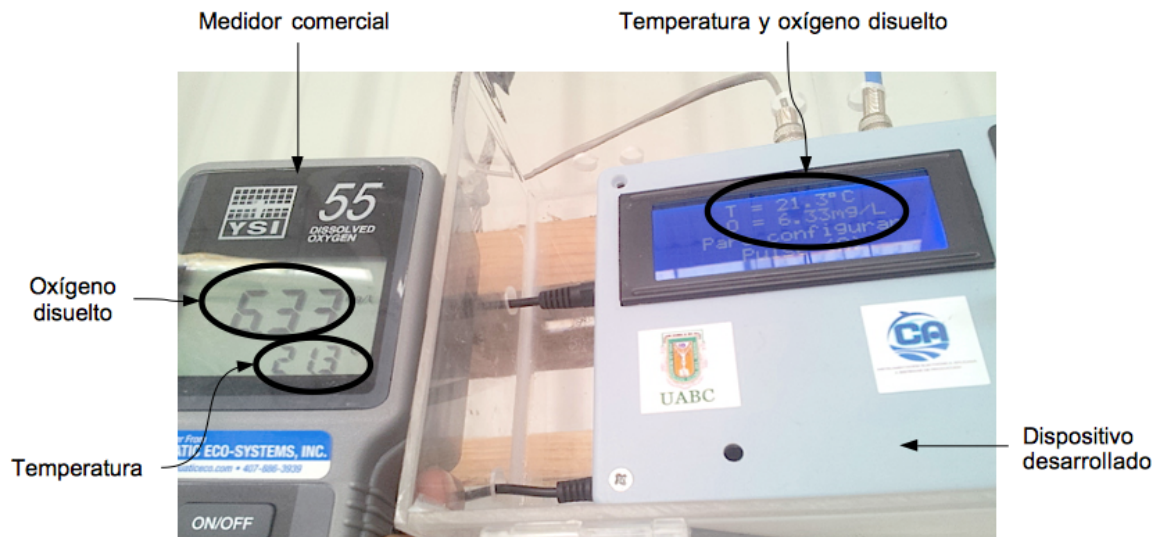


Figura 63: Comparación de lecturas de oxígeno disuelto y temperatura en la UBP.



Figura 64: Medidor de temperatura y oxígeno disuelto.



Figura 65: Medidor de humedad relativa y temperatura.

está provisto con un LED RGB que enciende en color rojo, amarillo y verde según sean los niveles de operación establecidos por el usuario.

VI.1.5 Medidor multiparámetro

En la figura 68, se presenta el instrumento de monitoreo multiparámetro desarrollado en este trabajo de tesis que integra las ocho variables de medición (temperatura, pH, oxígeno disuelto, EC, salinidad, TDS, humedad relativa y nivel de líquido) que se estudiaron e implementaron a lo largo de este trabajo.

VI.2 Mediciones remotas de temperatura y pH

En la figura 69, se presenta una gráfica del tipo de información que se despliega en la computadora de uso remoto. Específicamente en la figura 69 se presentan las mediciones de temperatura registradas en la empresa Productos Oceánica a lo largo de 4 meses de trabajo ininterrumpido. Acorde a los requerimientos de la empresa, el dispositivo se programó para enviar por día 3 mensajes de texto a celular durante los meses de cultivo.

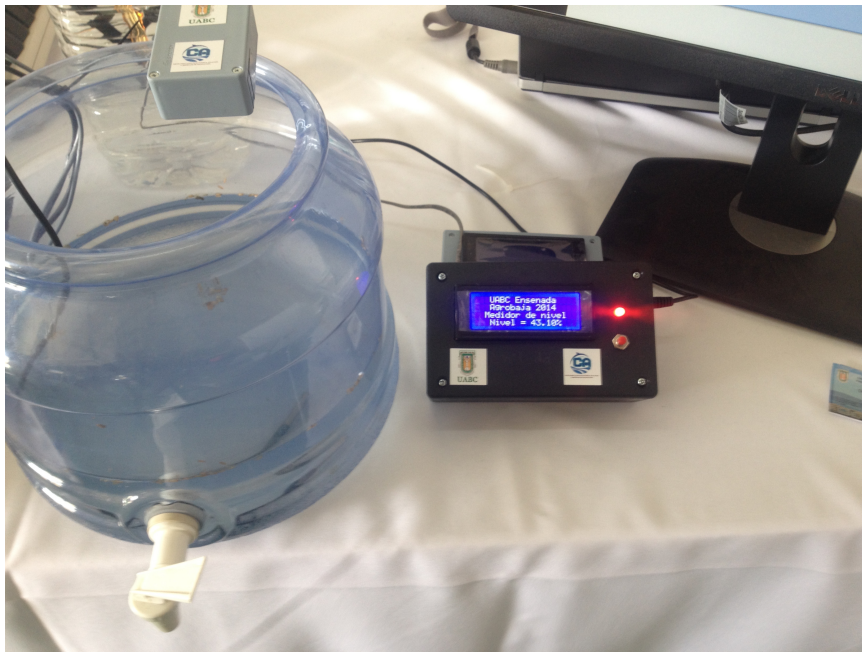


Figura 66: Maqueta del medidor de nivel de líquido.



Figura 67: Medidor de nivel de líquido.



Figura 68: Instrumento de monitoreo multiparámetro.

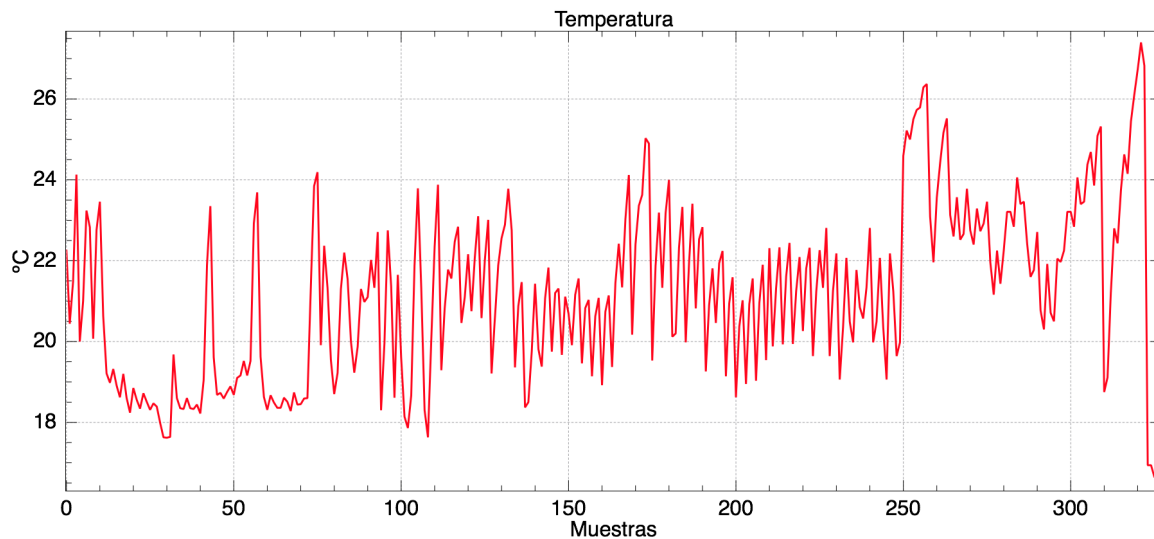


Figura 69: Gráfica de temperatura durante 4 meses.

En la figura 70, se presenta la gráfica del pH registrado en la computadora remota durante 4 meses. En la figura se observa que el valor de pH se encuentra oscilando alrededor del valor 8. Este rango de variación es definido por la empresa Productos Oceánica.

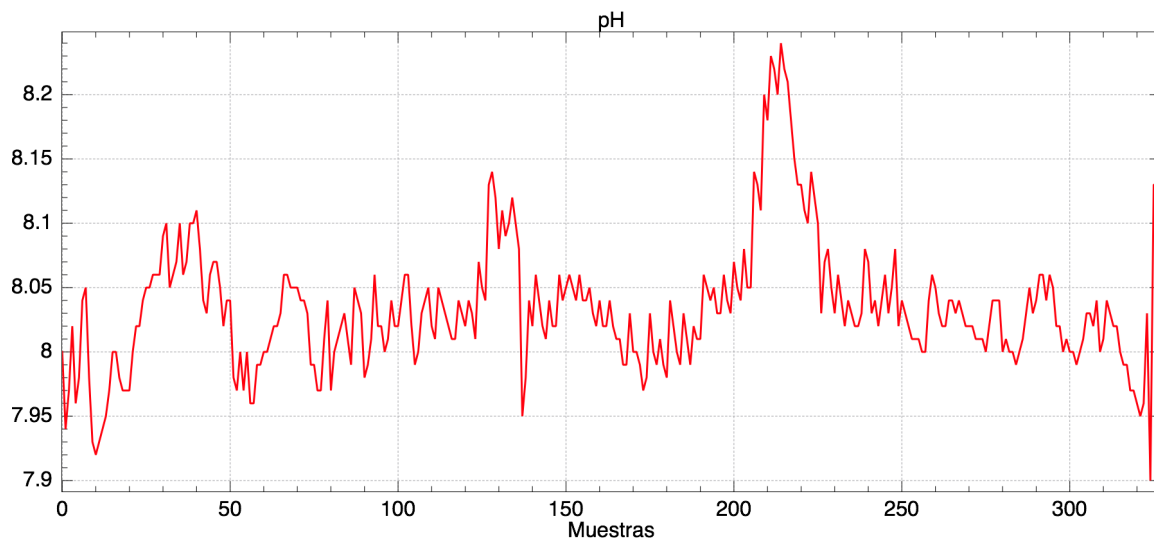


Figura 70: Gráfica de pH durante 4 meses.

VI.3 Resumen

En este capítulo se presentaron los resultados de los diferentes instrumentos desarrollados a lo largo de este trabajo de tesis, se puede observar la evolución técnica de los instrumentos finales respecto a los prototipos iniciales. En las imágenes de comparación de los instrumentos desarrollados y los instrumentos comerciales, se hace evidente la calidad en las mediciones de nuestros instrumentos. Bajo esta perspectiva se muestra la potencialidad en el desarrollo de instrumentos para satisfacer necesidades de empresas dedicadas a la acuicultura. La operatividad del instrumento multiparámetro ha sido probada de manera ininterrumpida a lo largo de 24 meses en un ambiente real de producción, arrojando resultados muy prometedores.

Las bondades que ofrece el sistema de monitoreo multiparámetro desarrollado en este trabajo de tesis son las siguientes:

- Disponibilidad de calibración de cada sensor.
- Definición de números de teléfonos celulares a donde se envían alertas.
- Definición de valores mínimo y máximo de las variables medidas.
- Definición de clave de acceso a menú principal.
- Adecuación de tasa de muestreo por variable medida.
- Adecuación de tasa de envío de mensajes de texto.
- Comunicación inalámbrica entre el instrumento de monitoreo y una computadora remota.
- Interfaz gráfica para visualizar las mediciones.

- Registro de datos en una PC de variables medidas.

En la tabla XVIII, se muestran las especificaciones técnicas para las cuales el instrumento de monitoreo multiparámetro está calibrado para operar correctamente, dicho instrumento mide: temperatura, pH, oxígeno disuelto, EC, Salinidad, TDS, humedad relativa y nivel de líquido (ver figura 68).

Tabla XVIII: Especificaciones técnicas del instrumento.

Parámetro	Valor
Temperatura	10 - 40°C
pH	0 - 14
Oxígeno disuelto	0 - 20 mg/L
Conductividad eléctrica	10 μ S/cm - 1 S/cm
Salinidad	0.014 - 3,285.97 ppt
Total de sólidos disueltos	6.4 - 640,000 ppm
Humedad relativa	20 - 90%
Nivel de líquido	2 cm - 4 m
Voltaje de entrada	7 - 12 V

Capítulo VII

Resumen y conclusiones

En este trabajo de tesis hemos abordado principalmente dos situaciones cotidianas en los procesos de cultivo acuícolas: *i*) el monitoreo de variables físico-químicas y *ii*) el conteo de peces. Estos hechos tienen un impacto directo en los niveles producción y calidad del producto bajo cultivo. La principal aportación derivada de este trabajo, es el haber propuesto y ejecutado alternativas de solución para cada uno de los problemas planteados bajo la conceptualización, desarrollo e implementación de sistemas basados en la innovación de tecnologías emergentes acotados a las necesidades del acuicultor.

El instrumento para el monitoreo de variables físico-químicas contempla *agua de mar* para las mediciones de la *temperatura*, el nivel de *oxígeno disuelto* y el *pH*, entre otras. Así mismo, el instrumento opera bajo la integración de tecnologías de vanguardia y provee varias ventajas operacionales: *i*) ajuste del rango de operación para cada una de las variables medidas, *ii*) autocalibración del sensor pH, *iii*) comunicación inalámbrica para visualización gráfica o registro de datos en forma remota y en tiempo real, *iv*) sistema de alertas visuales, sonoras y de texto, via mensajes a teléfonos celulares y *v*) su diseño mecánico es compacto, portátil y hermético, para ambientes en condiciones extremas. Se destaca el hecho de que los sistemas desarrollados se ajustan a las características técnicas del acuicultor, buscando una fácil integración a sus procesos y proveer condiciones de operación totalmente controladas. Tal es el caso del desarrollo específico de un instrumento de monitoreo multiparámetro integrado a la biotecnología del proceso de cultivo de la almeja del género *Penopea* (almeja generosa), de la empresa Productos Oceánica. Como resultado de esta incorporación se valida la certeza de las

mediciones efectuadas por el instrumento y se concluye: *i*) que el instrumento brinda de manera efectiva soluciones de monitoreo en etapas específicas del cultivo de la almeja generosa y *ii*) se visualiza la potencialidad del diseño a integrarse al cultivo en otro tipo de especies marinas.

Como parte complementaria a este trabajo de tesis, se implementó a nivel de laboratorio el diseño de un contador de peces en base a sensores infrarrojos, dotado con tecnología “*touch*” y comunicación inalámbrica. De los resultados experimentales preliminares se valida su autonomía y su operación no invasiva en el proceso de conteo, por lo que se concluye que el sistema: *i*) es de fácil integración al conteo de peces en sus diferentes etapas de crecimiento, *ii*) puede ser potencialmente atractivo para empresas o laboratorios acuícolas regionales o nacionales y *iii*) se puede aplicar al conteo de diferentes especies marinas.

VII.1 Trabajos a futuro

Debido a que la instrumentación electrónica es de suma importancia en los procesos acuícolas y tiene amplio campo de desarrollo, a continuación se enlistan los posibles trabajos a futuro:

- Utilizar el módulo GSM/GPRS para comunicar el dispositivo de monitoreo multiparámetro con un servidor de cómputo para almacenar y acceder a los datos de las variables medidas en la internet.
- Agregar una memoria externa al dispositivo de monitoreo multiparámetro para obtener mayor capacidad de almacenamiento de las variables medidas de manera *in situ*.
- Agregar al menú principal del dispositivo de monitoreo la opción para autocalibrar individualmente cada sensor.

- Desarrollar e implementar una red inalámbrica de “ n ” sensores para monitorear “ n ” estanques de cultivo.
- Desarrollar e implementar el control automático de cada variable medida.
- Implementar en un ambiente real el contador optoelectrónico de peces para validar su diseño.
- Diseñar y construir un medidor de cloro libre.
- Diseñar y construir un medidor de potencial de óxido-reducción (ORP).
- Diseñar e implementar un sistema automático dosificador de alimentos para peces, almeja generosa o langosta roja.

Bibliografía

- Bavera, G. A. (2006). *Sistemas de recirculación en acuicultura*, Vol. 2. SAGPyA.
- Bonilla, O. R. L. (1989). *Termógrafo Digital Submarino*. Tesis de maestría, CICESE.
- Boyd, C. E. (1998). *WATER QUALITY FOR POND AQUACULTURE*. Número 42. Department of Fisheries and Allied Aquaculture.
- Boyd, C. E. (2003). Guidelines for aquaculture effluent management at the farm-level. *Aquaculture*, **226**: 101–112.
- Cadieux, S., Michaud, F., y Lalonde, F. (2000). Intelligent system for automated fish sorting and counting. *Intelligent Robots and Systems*, páginas 1279–1284.
- Cervigón, F. (1989). *La Acuicultura en Venezuela: estado actual y perspectivas*, Vol. 1. Fernando Cervigón.
- Chemane, L. A., Nunes, A. F., y Hancke, G. P. (1997). Integrating modern instrumentation, control and information technology in the undergraduate laboratory. En *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Vol. 2, páginas 1426–1431. IEEE. ISBN 0-7803-3747-6.
- Cobo, A., López, D. G., Argüelles, V. I., Ledesma, F., Sotorrio, L. L., Martínez, F. J., Hernández, A. M., Polanco, J. F., Ruesga, S. M., Somohano, F., y Gutiérrez, J. A. T. (1999). *LA ACUICULTURA: Biología, regulación, fomento, nuevas tendencias y estrategia comercial*. Mundi-Prensa. ISBN 84-7114-868-8.
- Culberson, S. D. y Piedrahita, R. H. (1996). Aquaculture pond ecosystem model: temperature and dissolved oxygen prediction - mechanism and application. *Ecological Modelling*, **89**: 231–258.

- FAO (2012). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, Italia. ISBN 978-92-5-307225-5.
- Fofonoff, J. G. . F. C. . N. (1984). *La escala de salinidades prácticas de 1978 y la ecuación internacional de estado del agua del mar de 1980*. Unesco.
- Gislason, D. (2008). *ZIGBEE WIRELESS NETWORKING*. ZigBee Alliance.
- Huang, B. (2014). *Logic levels*, Vol. 3. R. M. Marston. ISBN 0750630183.
- Jurgens, B., Pérez, A. H., y Toré, D. B. (2008). *Tecnologías inalámbricas*. Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía IDEA.
- Kaaresoja, T., Anttila, E., y Hoggan, E. (2011). The effect of tactile feedback latency in touchscreen interaction. En *World Haptics Conference (WHC)*, páginas 65–70.
- Kemker, C. (2014). Measuring dissolved oxygen. *Fondriest Environmental*.
- Lekang, O.-I. (2008). *Aquaculture Engineering*. Blackwell. ISBN 978-1-4051-2610-6.
- Lemus, J. L. C., Torres-García, M. D. P., y Mondragón, M. F. (1997). *El Océano y sus recursos, XI: Acuicultura*. La ciencia para todos. ISBN 968-16-5242-8.
- Mandado, E., no, P. M., y Lago, A. (1995). *Instrumentación Electrónica*. Marcombo. ISBN 84-267-1011-5.
- Meyer, D. E. (2004). *Introducción a la Acuicultura*. Zamorano.
- Newbury, P. F., Culverhouse, P. F., y Pilgrim, D. A. (1995). Automatic fish population counting by artificial neural network. *Aquaculture*, **133**: 45–55.
- Orna, M. V. y Stock, J. (1989). Electrochemistry, past and present. *Columbus*.
- Orvay, F. C. (1993). *Acuicultura marina: fundamentos biológicos y tecnología de la reproducción*. Universidad de Barcelona, primera edición. ISBN 84-475-0477-8.
- Oyarce, A. (2010). *XBee Series 1*, Vol. 1. O' Reilly Media.

- Pulido, D. G. y Rodríguez, O. P. (2013). Modelos físicos para el conteo y clasificación de peces.
- Steinhart, J. S. y Hart, S. R. (1968). Calibration curves for thermistors. *Elsevier*, **15**: 497–503.
- Stone, N. M. y Thomforde, H. K. (2004). Understanding your fish pond water analysis report. *Aquaculture*.
- Summerfelt, R. C. (1998). *WATER QUALITY CONSIDERATIONS FOR AQUACULTURE*. Department of Animal Ecology.
- Swann, L. (1997). *A Fish Farmer's Guide to Understanding Water Quality*. Purdue University.
- True, C. D. (2012). *Desarrollo de la biotecnia de cultivo de Totoaba macdonaldi*. Tesis de doctorado, UABC.
- Zheng, X. y Zhang, Y. (2010). A fish population counting method using fuzzy artificial neural network. *Progress In Informatics and Computing*, páginas 225–228.

Apéndice A

Reporte técnico: Instrumentos de medición de pH, temperatura y amoníaco para aplicaciones de acuicultura desarrollados para la empresa Productos Oceánica

Universidad Autónoma de Baja California



Oceánica
Laboratorio



INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA APLICADA
A SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD)

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (MyDCI)

REPORTE TÉCNICO: Instrumentos de medición de *pH*, *Temperatura* y *Amoniaco* para aplicaciones en acuicultura desarrollados para la empresa *Productos Oceánica*.

Cuerpo Académico (UABC-CA-238):

Dr. Enrique Efren García Guerrero

Dr. Everardo Inzunza González

Dr. Oscar Roberto López Bonilla

Estudiantes de Maestría (posgrado MyDCI):

Ing. Andrés Navarro Rodríguez

Ing. César Alberto Liera Grijalva

Director Técnico *Productos Oceánica*:

M.C. José Carlos Garduño Franco

Ensenada, Baja California, 31 de noviembre de 2013



CONTENIDO	Pag.
1. Descripción de reporte técnico.	2
2. Diagramas a bloques de los instrumentos de telemetría.	3
3. Principio de operación de los instrumentos de telemetría.	5
4. Referencias.	17

1. Descripción de reporte técnico

El presente reporte técnico describe las principales características generales de los instrumentos electrónicos de telemetría para el monitoreo de *pH, Temperatura y Amoniaco*, desarrollados para la empresa **Productos Oceánica**. La implementación de la instrumentación electrónica desarrollada de manera específica para la compañía, busca coadyuvar en la mejora del proceso de cultivo de la **Almeja del género *Panopea spp* (Almeja Generosa)** a través de: *i)* lograr un control óptimo de las variables de proceso evitando mortandad en alguna de la etapas de desarrollo de la especie, *ii)* buscar la estandarización óptima en calidad y en el propio proceso de cultivo y *iii)* conocer y estudiar más a fondo el nivel de impacto que pudieran tener cada una de las variables involucradas en el crecimiento y desarrollo de la Almeja Generosa.

Los dispositivos electrónicos han sido desarrollados acorde a las necesidades actuales de producción de la empresa, ajustándolos a su nivel de experiencia y de adaptación en el manejo propio de la instrumentación electrónica. Los instrumentos presentan varias innovaciones tecnológica, de las que citamos: *i)* están diseñados para enviar vía mensaje de texto a cinco teléfonos celulares el valor de la variable físico-química monitoreada en tiempo real (pH, Temperatura, Amoniaco), en intervalos de tiempo requeridos (por ejemplo, cada 8hrs), *ii)* están dotados de tal forma que permite la manipulación y la definición acorde a las necesidades de producción los valores óptimos de operación de las variables a sensar ($Valor_{max}$ y $Valor_{min}$), *iii)* el instrumento al detectar que alguna de las variables se sale del intervalo de operación establecido ($Valor_{max}$ o $Valor_{min}$), manda vía mensaje de texto a cinco teléfonos celulares, una alarma indicando la situación actual (tiempo real) de la variable en cuestión, *iv)* cuentan con una etapa de comunicación inalámbrica cuyos valores de las variable sensadas se pueden desplegar en forma gráfica y en tiempo real en la pantalla de una computadora afín de visualizar su evolución en el tiempo, así como también se archivan los datos para análisis posteriores y *v)* se puede acceder a las gráficas del comportamiento de las variables sensadas en tiempo real vía internet,



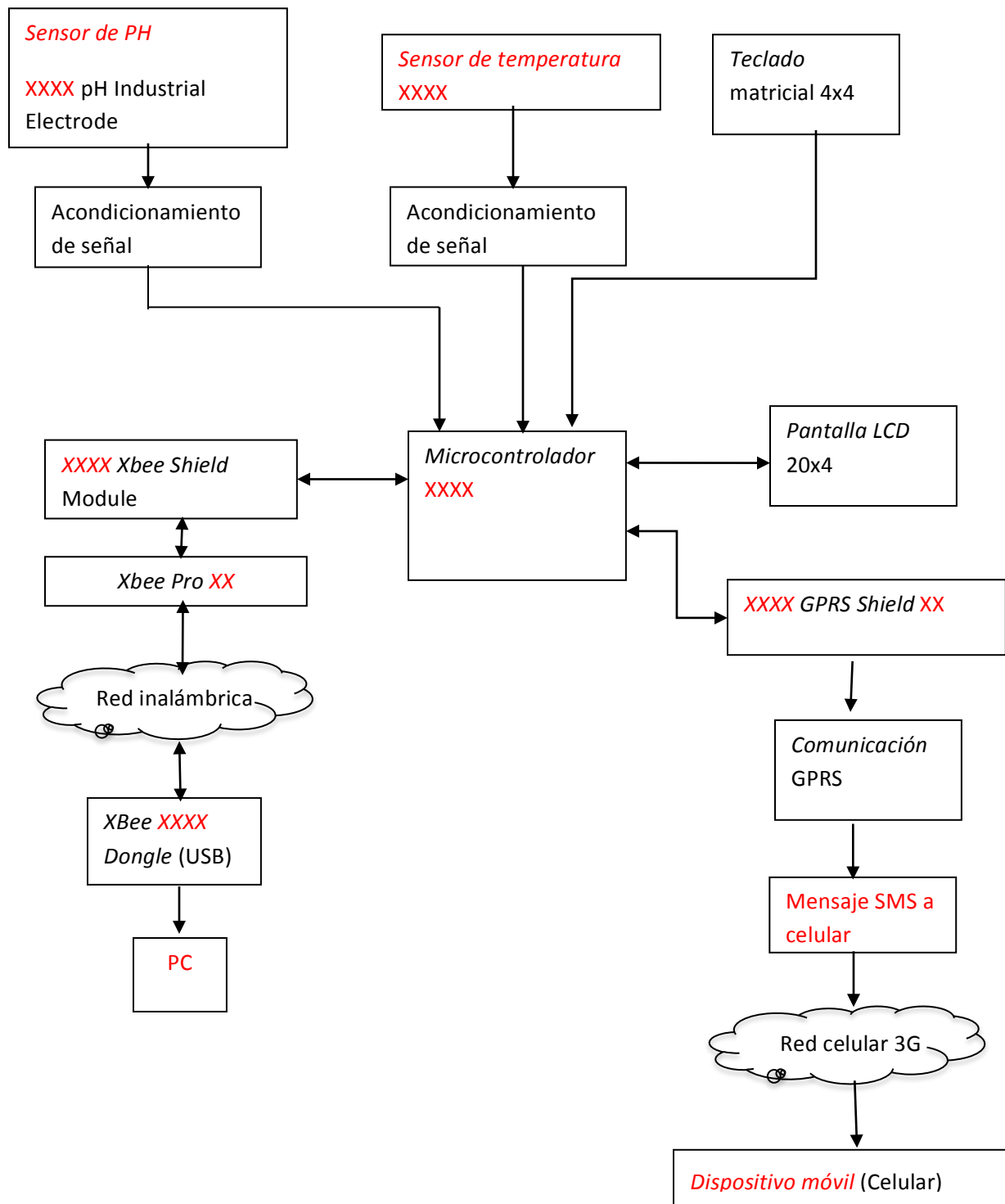
de tal forma que podemos acceder a la información de manera remota.

Se presentan diagramas a bloques de la estructura general de los instrumentos implementados: i) *pH* y *Temperatura* y ii) *pH*, *Temperatura* y *Amoniaco* (NH_3 y NH_4) y se describen los principios de operación de cada elemento utilizado en el diseño y desarrollo de los instrumentos. Particularmente se detalla el sensor de **pH**, su acondicionamiento de señal de lectura digital hacia el controlador, su ecuación de operatividad y sus cuidados básicos de mantenimiento. Se describe el cálculo para obtener el valor del Amoniaco y se hace una descripción general del concepto de comunicación inalámbrica, describiendo las ventajas de la comunicación GPRS y Zigbee respecto otras. Finalmente se describe brevemente los datos eléctricos del micro-controlador utilizado.

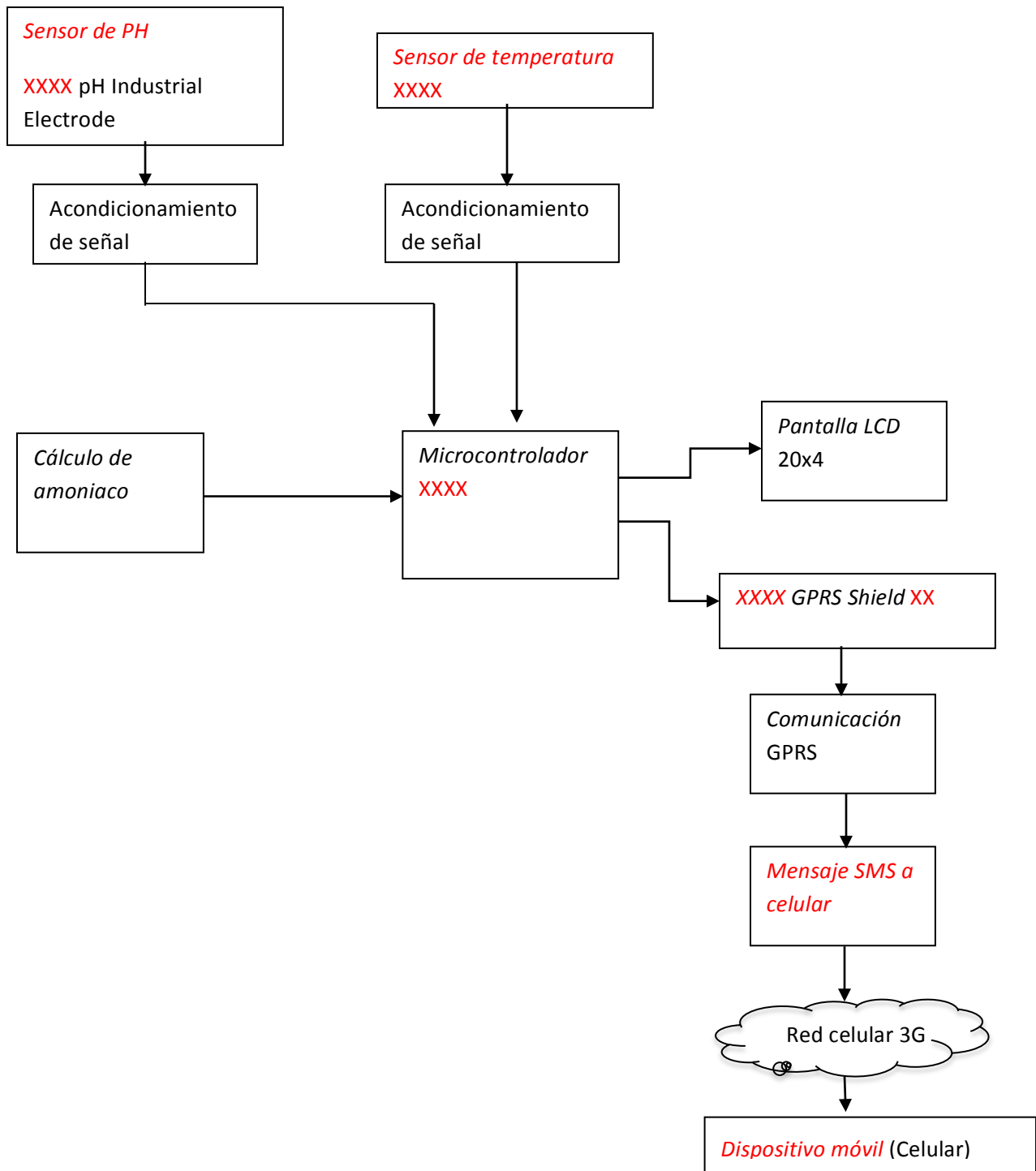
Se hace notar que particularmente en este escrito y por encontrarse en trámite el registro de patente de los instrumentos en cuestión, solo se especifican las características técnicas de los componentes empleados sin hacer referencia al fabricante y/o modelo en específico, así como algunos detalles de integración de los componentes.

2. Diagrama de bloques

2.1. Instrumento de telemetría para : pH y Temperatura



2.2. Instrumento de telemetría para: pH, Temperatura y Amoniacó (NH_3 y NH_4)



3. Principio de operación de los instrumentos

3.1. Sensor de temperatura

3.1.1. Biblioteca One Wire

Dallas Semiconductor (ahora Maxim) produce una familia de dispositivos que se controlan a través de un protocolo 1-wire.

En una red 1-Wire, que Dallas ha denominado un "MicroLan" un único dispositivo "maestro" se comunica con uno o más dispositivos 1-Wire "esclavos" a través de una sola línea de datos, que también pueden ser utilizados para proporcionar alimentación a los dispositivos esclavos.

Los sensores de temperatura 1-wire se han vuelto muy populares, porque son baratos y fáciles de usar y proporcionan directamente las lecturas de temperatura digital calibrado. Son más estables a grandes distancias entre el sensor y el controlador.

El chip puede ser alimentado de dos maneras. Una (la opción "parasitaria") significa que sólo dos cables (Tierra y bus de datos) deben ir al sensor. El otro modo (fuente externa), en algunos casos, dar un funcionamiento más confiable como un cable extra que lleva la potencia al sensor de temperatura.

3.1.2. Sensor XXXX

La figura 1 muestra un diagrama de bloques del XXXX. La ROM de 64 bits almacena el código de serie único del dispositivo. La memoria contiene el registro de las temperaturas en 2 bytes que almacena la salida digital del sensor de temperatura. Además, la memoria de trabajo proporciona el acceso a los registros de 1 byte de disparo de alarma superior e inferior (TH y TL). Los registros TH y TL son no volátil (EEPROM) , por lo que se conservan los datos cuando el dispositivo está apagado .

El XXXX utiliza el exclusivo protocolo de bus 1-Wire de Maxim que implementa la comunicación de bus con una señal de control.

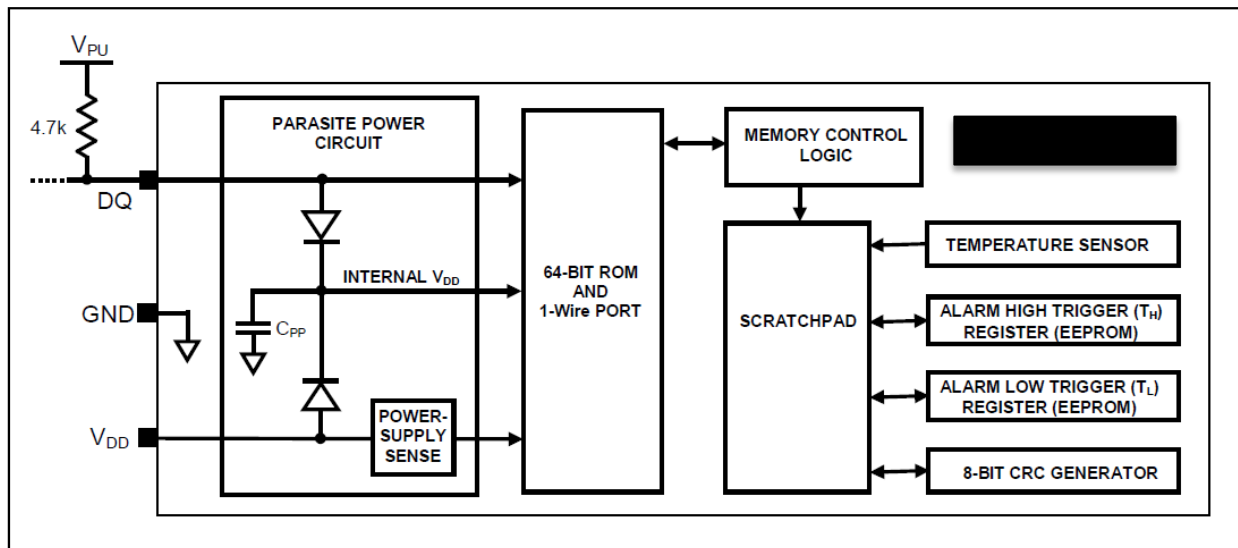


Figura 1. Diagrama de bloques del sensor XXXX

La salida del sensor de temperatura tiene una resolución de 9 bits , que corresponde a 0.5 °C por cada bit. El XXXX inicia en un estado de reposo de bajo consumo; Para iniciar una medición de la temperatura, el maestro tiene que emitir un comando Convert T [44h]. Después de la conversión, los datos térmicos resultantes se almacena en el registro de temperatura de 2 bytes en la memoria de trabajo y el XXXX vuelve a su estado de reposo .

Los datos de salida XXXX está calibrado en grados centígrados; para aplicaciones de Fahrenheit , una conversión de rutina debe ser utilizada . Los datos de temperatura se almacena como una extensión de signo número de 16 bits de complemento a dos en el registro de la temperatura (véase la Figura 2) . Los bits de signo (S) indican si la temperatura es positiva o negativa: para los números positivos S = 0 y para los números negativos S = 1 .

	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
LS BYTE	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}
	BIT 15	BIT 14	BIT 13	BIT 12	BIT 11	BIT 10	BIT 9	BIT 8
MS BYTE	S	S	S	S	S	S	S	S

S = SIGN

Figura 2 Formato de registro de temperatura.

TEMPERATURE (°C)	DIGITAL OUTPUT (BINARY)	DIGITAL OUTPUT (HEX)
+85.0*	0000 0000 1010 1010	00AAh
+25.0	0000 0000 0011 0010	0032h
+0.5	0000 0000 0000 0001	0001h
0	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5	1111 1111 1111 1111	FFFFh
-25.0	1111 1111 1100 1110	FFCEh
-55.0	1111 1111 1001 0010	FF92h

Figura 3. Salida del sensor XXXX.

3.2. Sensor de pH

3.2.1. pH

El pH se define como el logaritmo decimal de la inversa de la actividad del hidrógeno, donde la actividad, aH⁺, describe el ion libre de hidrógeno o la "concentración efectiva" en presencia de otros iones.

$$\text{pH} = -\log \text{aH}^+ \quad (1)$$

El pH es una de las medida más comunes en los laboratorios porque muchos procesos químicos dependen del pH. Con frecuencia, la velocidad o el ritmo de las reacciones químicas pueden ser alterados significativamente por el pH de la solución. La solubilidad de muchos agentes químicos en solución y su disponibilidad biológica dependen del pH. Usualmente la química fisiológica de los organismos vivos tiene límites muy específicos de pH.

3.2.2. Ecuación potenciométrica de los sensores de pH.

Los electrodos de pH miden el pH de una solución en forma potenciométrica. Una medición potenciométrica se basa en una señal eléctrica. Cuando un electrodo sensor de pH entra en contacto con una muestra, se desarrolla un potencial en toda la superficie de la membrana sensora. El potencial de la membrana varía con el pH. El efectuar una medición requiere un segundo potencial invariable para comparar cuantitativamente los cambios en el potencial de la membrana sensora. Un electrodo de referencia cumple esa función comparativa.

$$E_{\text{medido}} = E_0 + (2.3 \text{ RT/nF}) \log \text{aH}^+ \quad (2)$$

- E_{medido} es el potencial medido del electrodo sensor;
- E_0 guarda relación con el potencial del electrodo de referencia;
- $(2.3 RT/nF)$ es el factor Nernst
- $\log a_{H^+}$ es el pH.
- El factor Nernst, $2.3 RT/nF$, incluye la constante (R) de la Ley de Gases, la constante de Faraday (F), la temperatura en grados Kelvin (T) y la carga del ion (n).
- Para el pH, donde $n=1$, el factor Nernst es $2.3 RT/F$.

Dado que R y F son constantes, el factor y, por tanto, la conducta del electrodo depende también de la temperatura. La pendiente del electrodo es una medida de la respuesta del electrodo al ion que se está detectando y equivale al factor Nernst.

Cuando la temperatura es igual a 25°C , el factor Nernst o pendiente es $59.16 \text{ mV/unidad de pH}$. Los medidores de pH pueden mostrar la pendiente como un porcentaje del valor teórico. Por ejemplo, una pendiente de 98.5% equivale a una pendiente de $58.27 \text{ mV/unidad de pH}$ para una calibración de dos puntos.

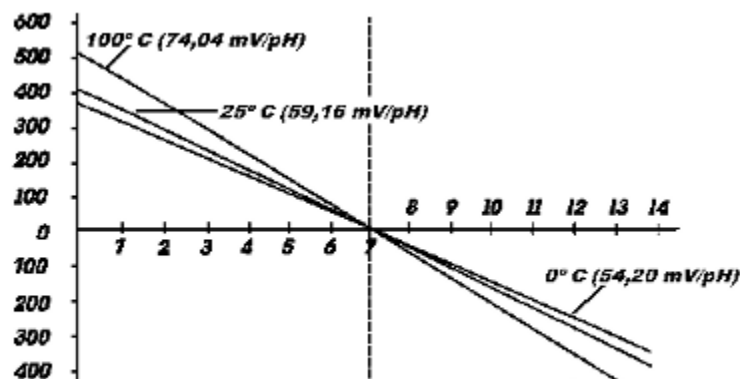


Figura 4. Gráfica de voltaje vs pH medido por el sensor, para su calibración.

Cuando un medidor de pH detecta la señal de la membrana sensora, la señal de referencia y la temperatura, el software del medidor calcula el pH que usa la ecuación de Nernst. Los medidores de pH controlados por microprocesador contienen valores de pH vs valores de temperatura para los patrones usados comúnmente. Esto permite que el medidor reconozca un patrón particular y efectúe la calibración con el valor correcto.

La pendiente del electrodo cambiará con las variaciones en temperatura. Los cambios de pendiente pueden ser compensados manualmente o automáticamente con una sonda de compensación automática de temperatura (ATC). En la Figura 5 se ilustra el cambio en la pendiente del electrodo con la temperatura.

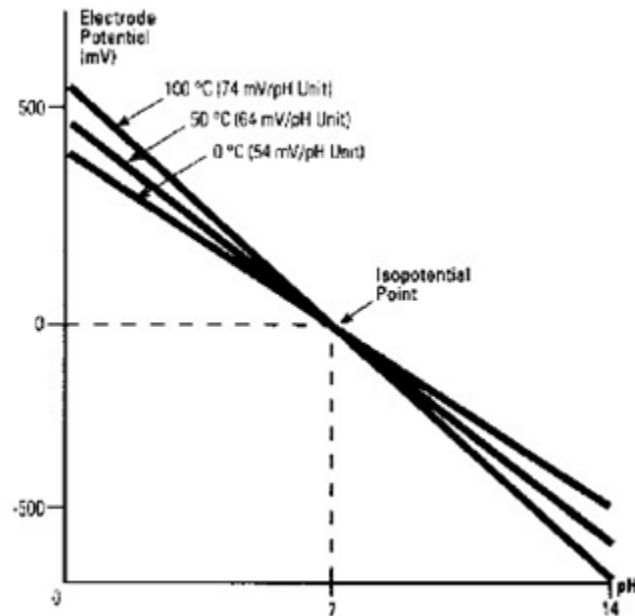


Figura 5. Errores de medición del sensor de pH por variaciones de temperatura.

3.2.3. Sensor de pH

Los sensores de pH se utilizan para la medición de la magnitud ácida de soluciones líquidas. Una sonda de pH mide la acidez en una escala de 0 a 14, siendo 0 el más ácido y 14 es el más básico.

Los sensores de pH funcionan mediante la creación de una célula voltaica (generación de voltaje) entre el fluido que contienen y la solución donde se sumergen. El voltaje medido luego se convierte en el pH, de acuerdo a la ecuación de Nernst.

En la figura 6 se muestran los componentes de los sensores modernos de pH.

1. El cuerpo del electrodo, típicamente hecho de vidrio no conductor o plásticos resistentes al impacto.
2. El electrodo de referencia, por lo general consta de los mismos metales como el electrodo principal.
3. La zona de unión entre la solución estudiada y la solución de referencia, por lo general hechas de cerámica o un capilar con el amianto o de fibra de cuarzo.
4. La solución de referencia, por lo general 0,1 moles / L de KCl
5. El electrodo interno, por lo general hecha de cloruro de plata.
6. La solución de referencia interna, solución neutra tamponada de 0,1 moles / L de KCl.

7. La parte de detección del electrodo, una bombilla hecha de un tipo especial de cristal .
8. Cuando se utiliza un electrodo de cloruro de plata , una pequeña cantidad de AgCl puede precipitar dentro de la ampolla de vidrio .

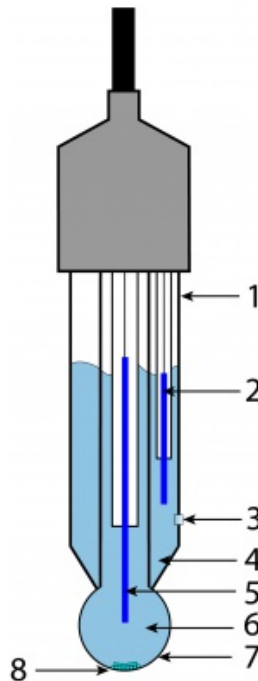


Figura 6. Esquemático de un sensor de pH.

3.2.4. Cuidados del sensor de pH

Los electrodos deben enjuagarse entre las muestras con agua destilada o desionizada. Nunca limpie un electrodo con la mano, dado que puede causar lecturas erróneas debido a las cargas electrostáticas. Seque el extremo del electrodo con papel sin pelusa para eliminar el exceso de agua. **Nunca toque directamente la membrana de vidrio del electrodo con los dedos dado que su propio aceite-grasa puede dañar el electrodo.**

Durante la instalación, es posible que haya burbujas de aire que se desplazan dentro de la ampolla de vidrio. Para eliminar las burbujas de aire, agite suavemente hacia

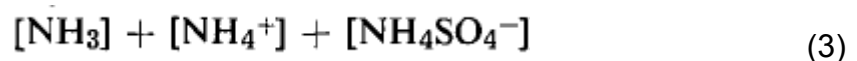
abajo el electrodo de la misma manera como un termómetro clínico hasta que la ampolla de vidrio está llena de solución.

Siempre mantenga su electrodo de pH húmedo. Se recomienda que si se va a guardar, se sumerja en una solución de almacenamiento. Si la solución de almacenamiento no está disponible, utilice una solución buffer de pH 4 o 7. **No almacenar el electrodo en agua destilada o desionizada, esto hará que los iones se filtren fuera de la ampolla de vidrio inutilizándolo.** Después del almacenamiento, es posible que observe cristales blancos KCl formados fuera del electrodo. Esto no va a interferir con las mediciones. Simplemente enjuague el electrodo y seque antes de su uso.

Si el electrodo de pH se seca, sumerja el electrodo hasta 2 horas en un buffer de pH de la solución 4.0. **Si el electrodo se deja secar durante un período prolongado de tiempo, tendrá como resultado un daño permanente.**

3.3. Cálculo de amoníaco

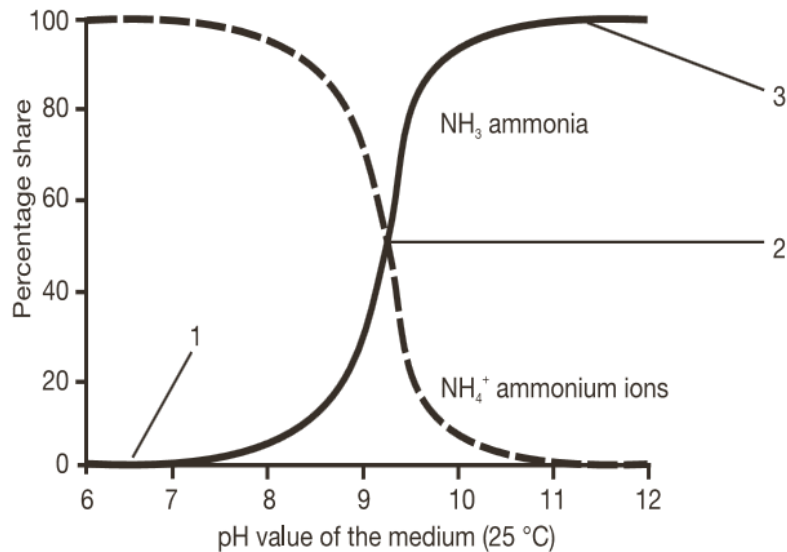
En acuicultura el aspecto tóxico del amoníaco para peces es de interés primordial. La concentración total de amoníaco:



es también relevante como un nutriente para los organismos simples en la filtros bacterianos en los tanques de peces. Los efectos tóxicos son ejercidos por el amoníaco $[\text{NH}_3]$, siendo esta entidad que puede penetrar rápidamente por las membranas y a las células a través de los segmentos de la grasa lipóide. (Lloyd y Herbert, 1960; Fromm y Gillotte de 1968, Meyer y Winkelmann, 1969; Tabacs y Holt, 1971; y Gulik-Kzywicki, 1975).

El total de amoníaco descrito anteriormente, se mide convencionalmente por un método colorimétrico (*test kit*), el cual es tomando una muestra de agua y realizando una reacción química, con lo cual dicha muestra obtiene un color característico dependiendo la cantidad de amoníaco presente.

Estos métodos también pueden ser medidos indirectamente por la medición de otros parámetros que afectan la proporción del amoníaco, mencionado por Khoo, Culberson, & Bates (1977) donde establecen una ecuación empírica sobre la cantidad de amoníaco presente en agua de mar a partir de ciertos parámetros con el NH_4 y realizando su respectivo ajuste por métodos numéricos.



- (1) Only NH_4^+ ions (ammonium) are present
- (2) The ratio of NH_4^+ ions (ammonium) and NH_3 (ammonia) is 1:1
- (3) Only NH_3 (ammonia) is present

Figura 7. Distribución de amoníaco disuelto en agua dulce.

3.4. Comunicación GPRS

GPRS es una nueva tecnología que comparte el intervalo de frecuencias de la red GSM utilizando una transmisión de datos por medio de “paquetes”. La conmutación de paquetes es un procedimiento adecuado para transmitir datos, hasta ahora los datos se habían transmitido mediante conmutación de circuitos, procedimiento más adecuado para la transmisión de voz.

La tecnología GPRS mejora y actualiza a GSM con los servicios siguientes:

- Servicio de mensajes multimedia (MMS)
- Mensajería instantánea
- Aplicaciones en red para dispositivos a través del protocolo WAP
- Servicios P2P utilizando el protocolo IP
- Servicio de mensajes cortos (SMS)
- Posibilidad de utilizar el dispositivo como módem USB

La tecnología GPRS se puede utilizar para servicios como el acceso mediante el Protocolo de Aplicaciones Inalámbrico (WAP), el servicio de mensajes cortos (SMS) y multimedia (MMS), acceso a Internet y correo electrónico.

El método de cobro típico para transferencias de datos usando GPRS es el pago por megabytes de transferencia, mientras que el pago de la comunicación tradicional mediante conmutación de circuitos se cobra por tiempo de conexión, independientemente de si el usuario está utilizando el canal o este se encuentra inactivo. Este último método es poco eficiente debido a que mantiene la conexión incluso cuando no se están transmitiendo datos, por lo que impide el acceso al canal a otros usuarios. El método utilizado por GPRS hace posible la existencia de aplicaciones en las que un dispositivo móvil se conecta a la red y permanece conectado durante un periodo prolongado de tiempo sin que ello afecte en gran medida a la cantidad facturada por el operador (compañía celular).

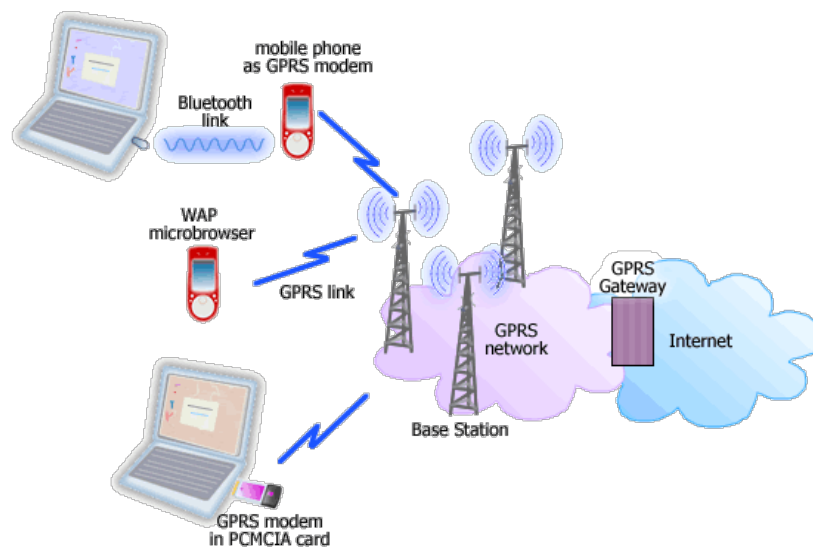


Figura 8. Ejemplo de aplicación de comunicación con tecnología GPRS.

3.5. Comunicación Zig Bee

3.5.1. Protocolo Zig Bee

La comunicación Zig Bee es promovida por la ZigBee Alliance, la cual, es una comunidad internacional de más de 100 compañías como Motorola, Mitsubishi, Philips, Samsung, Honeywell, Siemens, entre otras; cuyo objetivo es habilitar redes inalámbricas con capacidades de control y monitoreo que sean confiables, de bajo consumo energético y de bajo costo, que funcione vía radio y de modo bidireccional;

todo basado en un estándar público global que permita a cualquier fabricante crear productos que sean compatibles entre ellos.

Algunas de las características de ZigBee son:

- A pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como WiFi o Bluetooth su desempeño no se ve afectado, esto debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4.
- Capacidad de operar en redes de gran densidad.
- Cada red ZigBee tiene un identificador de red único, lo que permite que coexistan varias redes en un mismo canal de comunicación sin ningún problema.
- Teóricamente pueden existir hasta 16 000 redes diferentes en un mismo canal y cada red puede estar constituida por hasta 65 000 nodos.
- Es un protocolo de comunicación multi-salto, es decir, que se puede establecer comunicación entre dos nodos aún cuando estos se encuentren fuera del alcance de transmisión, siempre y cuando existan otros nodos intermedios que los interconecten, de esta manera, se incrementa el área de cobertura de la red.
- Su topología de malla (MESH) permite a la red autorecuperarse

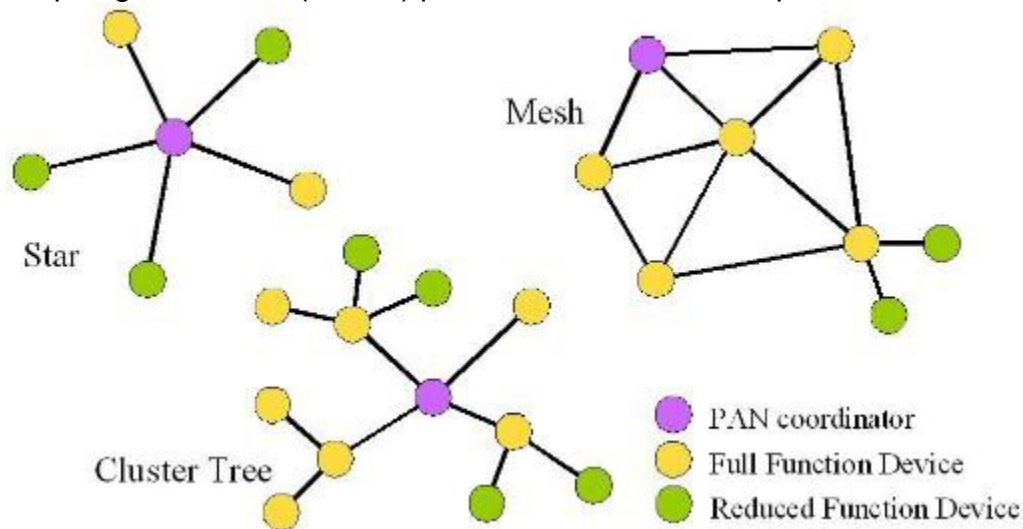


Figura 9. Tipos de redes Zigbee (imagen recuperada de <http://www.digikey.com/us/en/techzone/wireless/resources/articles/moving-beyond-zigbee.html>)

3.5.2. Módulos Xbee

Los módulos Xbee proveen 2 formas amigables de comunicación: Transmisión serial transparente (modo AT) y el modo API que provee muchas ventajas. Los módulos Xbee pueden ser configurados desde el PC utilizando el programa X-CTU o bien desde

un microcontrolador. Los Xbee pueden comunicarse en arquitecturas punto a punto, punto a multi punto o en una red.

Los módulos Xbee pueden ser usados con una PC con los adaptadores Xbee Explorer Serial o Xbee Explorer USB. Aquellos microcontroladores que trabajan con 5V necesitarán de una interfaz para comunicarse con los módulos XBee.

Datos técnicos del módulo Xbee

Platform		
Performance		
RF Data Rate	250 kbps	250 kbps
Indor/Urban Range	100 ft (30 m)	300 ft (100 m)
Outdoor/RF Line-of-Sight Range	300 ft (100 m)	1 mi (1.6 km)
Transmit Power	1 mW (+0 dBm)	60 mW (+18 dBm)*
Receiver Sensitivity (1% PER)	-92 dBm	-100 dBm
Features		
Serial Data Interface	3.3V CMOS UART	3.3V CMOS UART
Configuration Method	API or AT Commands, local or over-the-air	API or AT Commands, local or over-the-air
Frequency Band	2.4 GHz	2.4 GHz
Interference Immunity	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)	DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)
Serial Data Rate	1200 bps - 250 kbps	1200 bps - 250 kbps
ADC Inputs	(6) 10-bit ADC inputs	(6) 10-bit ADC inputs
Digital I/O	8	8
Antenna Options	Chip, Wire Whip, U.FL, & RPSMA	Chip, Wire Whip, U.FL, & RPSMA

Figura 10. Especificaciones de los módulos Xbee

3.6. Microcontrolador XXXX

El microcontrolador empleado tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 14 proporcionan salida PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTS (puertos serie por hardware), un cristal oscilador de 16MHz, conexión USB, entrada de corriente, conector ICSP y botón de reset.

Microcontrolador	XXXX
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque(bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

EL Microcontrolador XXXX facilita en varios aspectos la comunicación con el ordenador u otros microcontroladores. El XXXX proporciona cuatro puertos de comunicación vía serie UART TTL (5V). Un chip FTDI FT232RL integrado en la placa canaliza esta comunicación serie del USB y los drivers FTDI proporcionan un puerto serie virtual en el ordenador. Los LEDS RX y TX de la placa parpadearan cuando se detecte comunicación transmitida través del chip FTDI y la conexión USB (no parpadearan si se usa la comunicación serie a través de los pines 0 y 1).

La Biblioteca SoftwareSerial permite comunicación serie por cualquier par de pines digitales del Mega.

El XXXX también soportan la comunicación I2C (TWI) y SPI . El software incluye una librería Wire para simplificar el uso el bus I2C.

4. Referencias

1. **Sistema fotoelectrónico para titulaciones de oxígeno disuelto con alta precisión y su aplicación en oceanografía biológica.** Cajal Medrano, R., E. Mitrani Abenchuchan y M. Castro Delgado. CICESE. Año: 1991.
2. **Diseño y construcción de un controlador programable de bajo consumo de energía para su uso en instrumentación.** Favela Vara, Fernando. CICESE. Año: 1984.
3. **Desarrollo de un instrumento para la adquisición y pre-procesamiento de señales respiratorias.** Quezada Holguín, José Irak. CICESE. Año: 2011.
4. **Termógrafo digital submarino.** López Bonilla, Oscar Roberto. CICESE. Año: 1989.
5. **Desarrollo de un instrumento para la adquisición automática de datos de campo.** Wong Castañeda, Lino. CICESE. Año: 1986.
6. **Desarrollo de la biotecnia de cultivo de *Totoaba macdonaldi***
True, Conal David. Año 2012 QL638 .S34 T78
7. **Amonia**, Canadian Water Quality Guidelines for the Proteccion of Aquatic Life. Canadian Council of Minister of the Enviroment, 2010.
8. **Relationship between total ammonia and free ammonia in terrestrial and ocean Waters.** B.L. Hampson. Fisheries Laboratory, Lowestoft, Suffolk NR 33 OHT, England. J. Cons. Int, Explor, Mer, 37(2): 117-122, Février 1977.
9. **Thermodynamics of the Dissociation of Ammonium Ion in Seawater from 5 to 40°C.** K.H. Khoo, Charles H. Culberson, and Roger G. Bates. Journal of Solution Chemistry, vol 6, No. 4, 1977
10. **Ammonia in Fish Ponds.** Sourthen Regional Aquaculture Center. Robert M Durborow, David M. Crosby and Martin W. Brunson. SRAC Publication No. 463. Juanury 1992
11. Beattie Hal and Brady Blake, 1999. **Development of culture methods for geoduck clam in the USA (Washington state) and Canada (British Columbia).** World Aquaculture. Vol. 30 No.3 pp. 50-53 sep.

12. Goodwin C.L. and B.C. Pease, 1991. Geoduck, ***Panopea abrupta* (Conrad, 1849)**, density, and quality as related to various environmental parameters in Puget Sound, Washington. Journal of Shellfish Research, Vol. 10 No. 1 pp. 65-77.
13. Sloan N.A. and S.M.C. Robinson. 1984. **Age and gonad development in the geoduck clam *Panopea abrupta* (Conrad) from southern British Columbia, Canada.** Journal of Shellfish Research, Vol. 4 No. 2, 131-137.
14. Zhang, Zane and Campbell, Alan. 2004. **Natural mortality and recruitment rates of the Pacific geoduck clam (*Panopea abrupta*) in experimental plots.** Journal of Shellfish Research. Dec.
15. Siegmund M. Redl, Matthias K. Weber, Malcolm W. Oliphant: **An Introduction to GSM**, Artech House, March 1995, ISBN 978-0-89006-785-7.
16. John O'M. Bockris, Amulya K.N. Reddy Reverte. **Electroquímica Moderna**, Volumen 2, c1980 - 884 páginas
17. K.H. Khoo, C.H. Culberson, and R.G. Bates, **Thermodynamics of the dissociation of ammonium ion in seawater from % to 40 C**, Journal of Solution Chemistry, 6:281-290, 1977.

Referencias electrónicas

- <http://etrij.etri.re.kr/>
- http://rmf.smf.mx/page/rmf_busqueda
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador>
- <http://www.biblioteca.uabc.mx/>
- <http://rccp.udea.edu.co/index.php/ojs/article/viewFile/497/464>
- http://rmf.smf.mx/pdf/rmf/40/4/40_4_533.pdf
- <http://biblioteca.cicese.mx/catalogo/tesis/ficha.php?id=7837>
- http://www.jumousa.com/en_US/support/faq_education/literature/Themes/ammonia-measurement/FAS632.html

Apéndice B

Manual de usuario: Instrumento de medición de pH y temperatura

Universidad Autónoma de Baja California



Oceánica
Laboratorio



INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA APLICADA
A SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD)

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (MyDCI)

MANUAL DE USUARIO:

Instrumento de medición de *pH* y *Temperatura* para aplicaciones en acuicultura desarrollado para la empresa *Productos Oceánica*.

Cuerpo Académico (UABC-CA-238):

Dr. Enrique Efren García Guerrero

Dr. Everardo Inzunza González

Dr. Oscar Roberto López Bonilla

Estudiantes de Maestría (posgrado MyDCI):

Ing. Andrés Navarro Rodríguez

Ing. César Alberto Liera Grijalva

Director Técnico *Productos Oceánica*:

M.C. José Carlos Garduño Franco

Ensenada, Baja California, 31 de noviembre de 2013



Instrucciones importantes para el manejo del instrumento.

Por favor lea detalladamente este manual antes de conectar y operar este instrumento.

Contenido

1. Descripción del instrumento	3
2. Ingreso al menú principal	5
3. Ajuste de intervalos de temperatura	7
4. Ajuste de intervalos de pH	9
5. Led indicador de intervalos de pH	12
6. Almacenamiento de teléfonos celulares	13
7. Tecla para borrar	14
8. Cambio de clave de acceso a menú principal	14
9. Salida del menú principal	15

1 Descripción del instrumento

El medidor de pH y temperatura es un instrumento que se encarga de tomar las mediciones de pH y temperatura automáticamente de manera continúa a través de dos sensores electrónicos, estas mediciones son mostradas en una pantalla LCD para la fácil visualización de dichas lecturas.

El instrumento cuenta con la disponibilidad de enviar mensajes de alerta y de monitoreo a cinco teléfonos celulares; el caso de alerta sucede cuando se sale de algún valor de los cuales se establecen en el equipo (ver pag. 9), en el caso de monitoreo, el dispositivo manda un mensaje cada 8 horas (ajustable) con las lecturas de pH y temperatura promediadas cada una durante ese período de tiempo.

Otro recurso que tiene el equipo es el del envío de las mediciones de pH y temperatura (cada 30 minutos y ajustable) de manera inalámbrica a una computadora a una distancia de 50 metros, haciendo fácil el almacenamiento de datos para poder manipularlos posteriormente.

El medidor de pH y temperatura tiene un teclado matricial que sirve para poder acceder a un menú principal en el cual se pueden:

- Cambiar los valores mínimos y máximos de pH y temperatura.
- Cambiar los números de teléfonos celulares a los que se desean mandar los mensajes de texto.
- Cambiar la clave de acceso al menú.
- Salir de menú.

Al encender el instrumento se mostrará en la pantalla LCD los intervalos de pH, temperatura y los números de teléfonos celulares que se tienen almacenados en la memoria del aparato. A continuación de muestran unas figuras de lo explicado anteriormente:

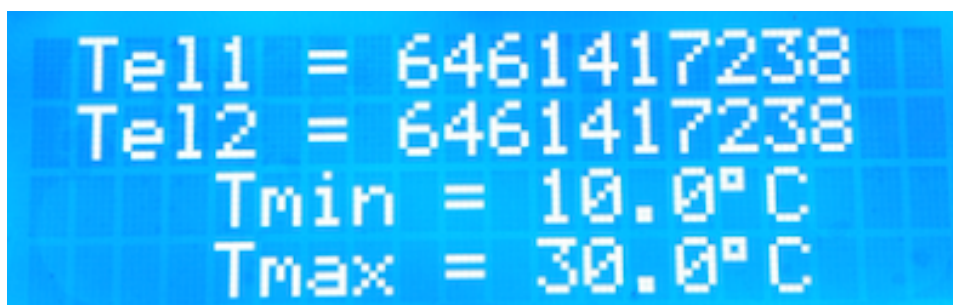


Figura 1.a Imagen de los teléfonos e intervalos de temperatura almacenados en el instrumento.

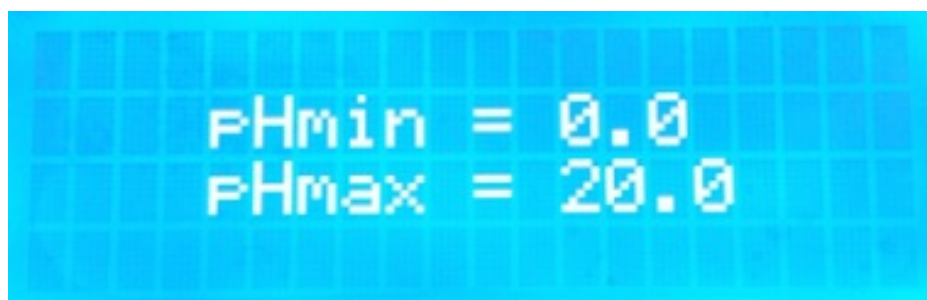


Figura 2.a Imagen de los intervalos de pH almacenados en el instrumento.

Nota: Al conectar el instrumento a la red eléctrica este estará encendido y listo para operar. En caso de se desee apagar solo desconectarlo de la red eléctrica.

2 Ingreso al menú principal

Para poder ingresar al menú principal, aparecerá en el desplegado principal de la pantalla del dispositivo una opción que dice: “Para configurar pulse (A)” tal y como se muestra en la siguiente imagen:

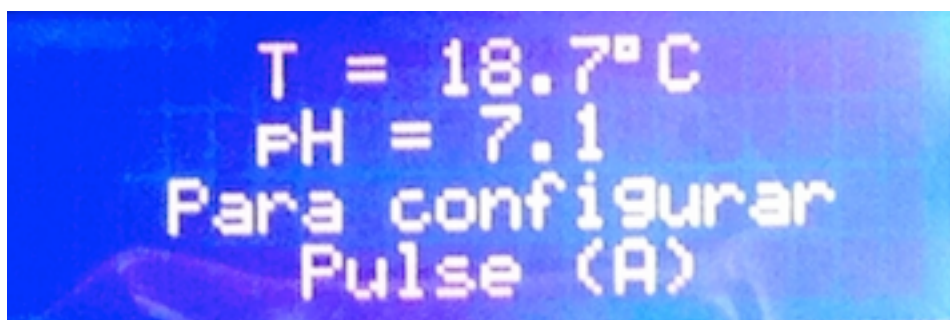


Figura 3.- Desplegado principal de la pantalla LCD.

En caso de no presionar la letra “A” y presionar otra tecla aparecerá la siguiente imagen en la pantalla:

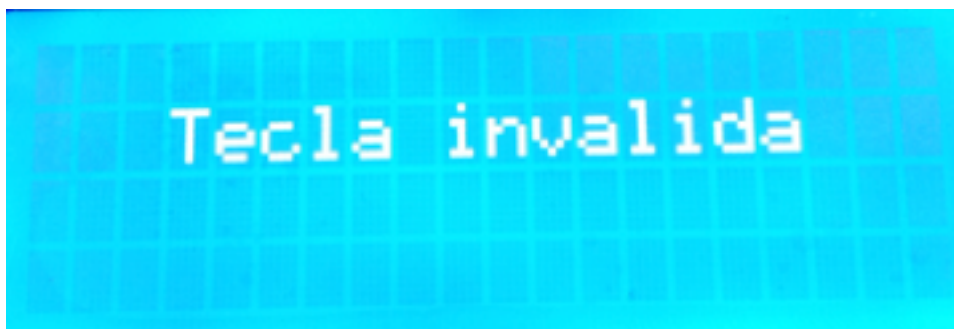


Figura 4.- Desplegado de tecla invalida para ingresar al menú.

Al presionar la letra “A” del teclado, nos mostrará otra leyenda en la pantalla solicitando ingresar la clave para poder entrar al menú principal, como se muestra en la siguiente imagen:

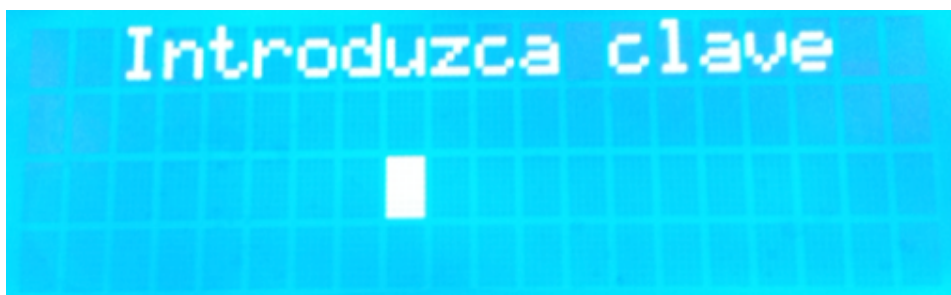


Figura 5.- Desplegado para introducir clave para ingresar al menú.

Cabe destacar que la clave por default es de 4 dígitos **(1234)**, y en caso de poner la clave incorrecta en el dispositivo, aparecerá lo siguiente en la pantalla:

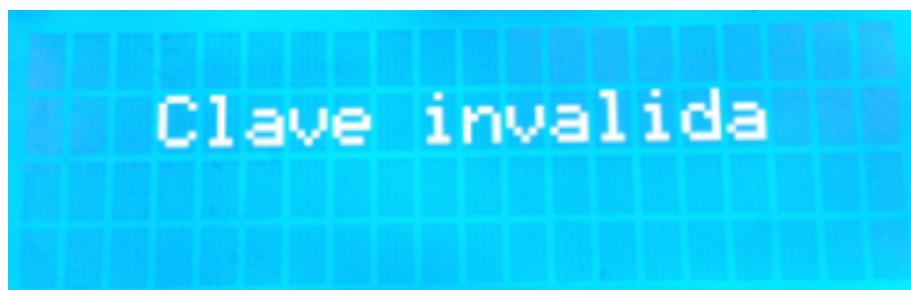


Figura 6.- Desplegado por introducir clave incorrecta para entrar al menú.

Al terminar de ingresar la clave correcta al dispositivo, éste automáticamente ingresará al siguiente menú:

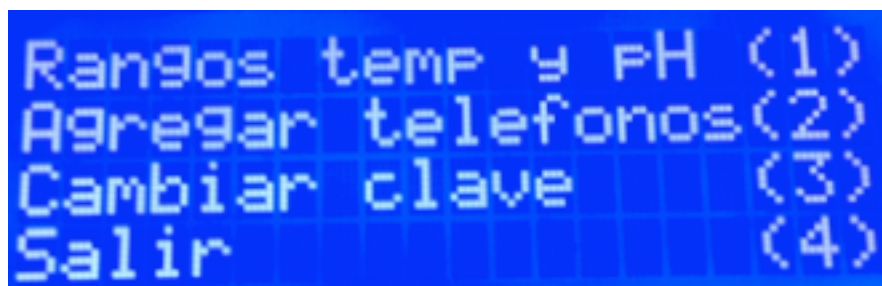


Figura 7.- Menú principal.

3 Ajuste de intervalos de temperatura

Los valores mínimo y máximo de temperatura son establecidos en el dispositivo para que en caso de que el valor sensado se salga de dicho intervalo el dispositivo de manera automática envíe un mensaje de texto a los teléfonos celulares que se tengan almacenados en la memoria. Los intervalos que se establezcan en el equipo se quedaran grabados y no se borrarán en caso de que se apague dicho aparato. Cabe mencionar que dichos intervalos pueden ser cambiados cuantas veces se desee. Ya situados en el menú principal (figura #7), el paso que sigue para ajustar los valores mínimo y máximo de temperatura es el de presionar la tecla "1" y aparecerá lo siguiente:

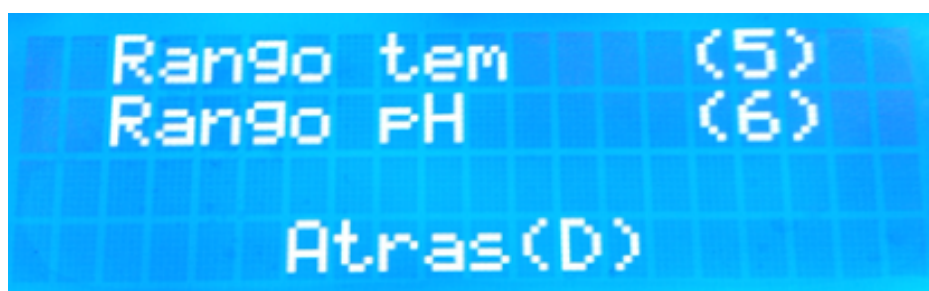


Figura 8.a Desplegado de opciones de intervalos de pH y temperatura.

En caso de querer regresar al menú principal (figura #7) se tiene que presionar la tecla "D".

Ahora, para ajustar los intervalos de temperatura se tiene que presionar la tecla "5" y aparecerá lo siguiente:

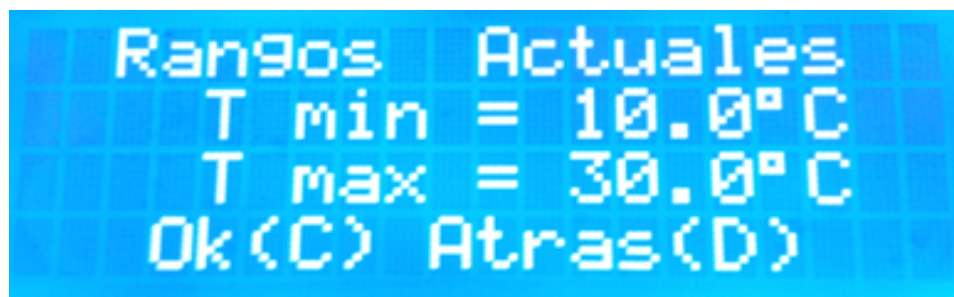


Figura 9.a Desplegado de intervalos de temperatura actuales.

Si se desea regresar al menú principal (figura #7) se presiona la tecla “D”, y si se desea cambiar los valores mínimo y máximo se presiona la tecla “C” e inmediatamente aparecerá lo siguiente:

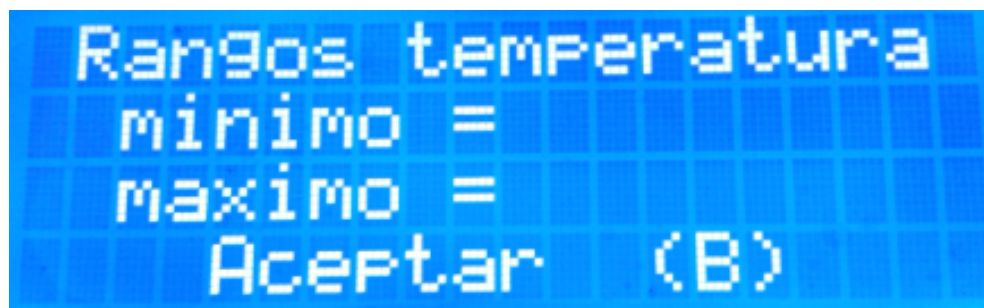


Figura 10.a Desplegado de ingreso de intervalos de temperatura.

Nota: si se desea ingresar cualquier valor (sea mínimo o máximo) menor a 10°C, por ejemplo 8.3°C, se tendrá que teclear de la siguiente forma:

08.3

Es decir, siempre anteponer un “0” a las unidades y teclear un decimal. Por ejemplo si se quiere ingresar el valor de 7°C, se tendrá que teclear de la siguiente forma:

07.0

Si se desea ingresar cualquier valor mayor a 10°C también debe de cumplir que contenga un decimal, por ejemplo 23°C, se tendrá que teclear de la siguiente forma:

23.0

El paso que sigue es el de teclear el valor mínimo de temperatura y al terminar de teclearlo el dispositivo esta listo para recibir el valor máximo. Lo que aparecerá en la pantalla será lo siguiente:

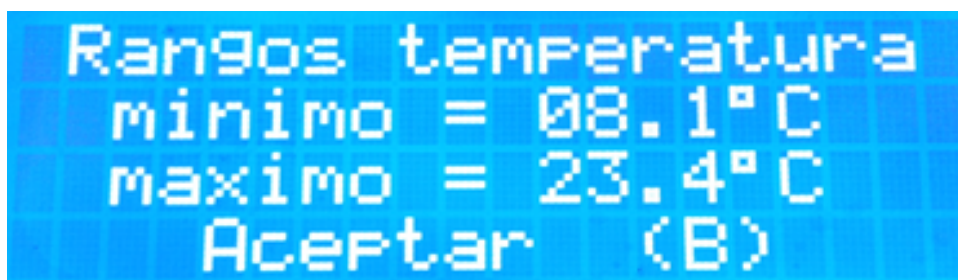


Figura 11.a Despliegado de intervalos nuevos de temperatura.

Una vez que se hayan ingresado los dos valores (**no se puede ingresar solo el valor mínimo o solo el valor máximo, tienen que ingresar los dos valores**) lo que prosigue es presionar la tecla “B” para que dichos valores sean almacenados en la memoria del aparato e inmediatamente se regresará al menú principal (figura #7).

4 Ajuste de intervalos de pH

Los valores mínimo y máximo de pH son establecidos en el dispositivo para que en caso de que el valor sentido se salga de dicho intervalo el dispositivo de manera automática envía un mensaje de texto a los teléfonos celulares que se tengan almacenados en la memoria. Los intervalos que se establezcan en el equipo se quedaran grabados y no se borrarán en caso de que se apague el aparato. Cabe mencionar que dichos intervalos pueden ser cambiados cuantas veces se desee.

Ya situados en el menú principal (figura #7), el paso que sigue para ajustar los valores mínimo y máximo de pH es el de presionar la tecla “1” y aparecerá lo siguiente:

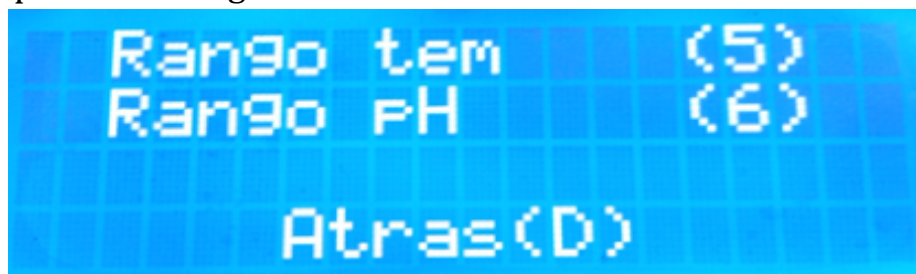


Figura 12.a Despliegado de opciones de intervalos de pH y temperatura.

En caso de querer regresar al menú principal (figura #7) se tiene que presionar la tecla “D”.

Ahora, para ajustar los intervalos de pH se tiene que presionar la tecla “6” y aparecerá lo siguiente:

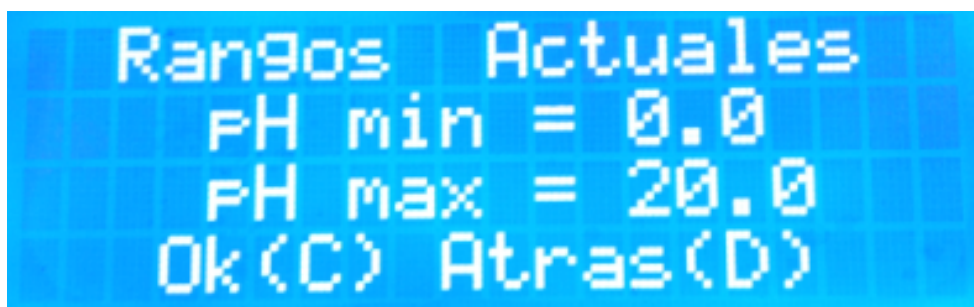


Figura 13.a Despliegado de intervalos de pH actuales.

Si se desea regresar al menú principal (figura #7) se presiona la tecla “D”, y si se desea cambiar los valores mínimo y máximo se presiona la tecla “C” e inmediatamente aparecerá lo siguiente:

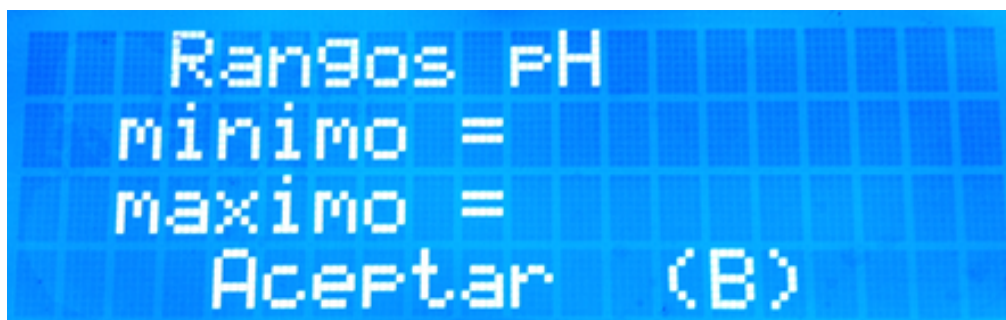


Figura 14.a Despliegado de ingreso de intervalos de pH.

Nota: si se desea ingresar cualquier valor (sea mínimo o máximo) menor a 10, por ejemplo 8.3, se tendrá que teclear de la siguiente forma:
08.3

Es decir, siempre anteponer un “0” a las unidades y teclear un decimal. Por ejemplo si se quiere ingresar el valor de 7, se tendrá que teclear de la siguiente forma:

07.0

Si se desea ingresar cualquier valor mayor a 10 también debe de cumplir que contenga un decimal, por ejemplo 23, se tendrá que teclear de la siguiente forma:

23.0

El paso que sigue es el de teclear el valor mínimo de pH y al terminar de teclearlo el dispositivo esta listo para recibir el valor máximo. Lo que aparecerá en la pantalla será lo siguiente:

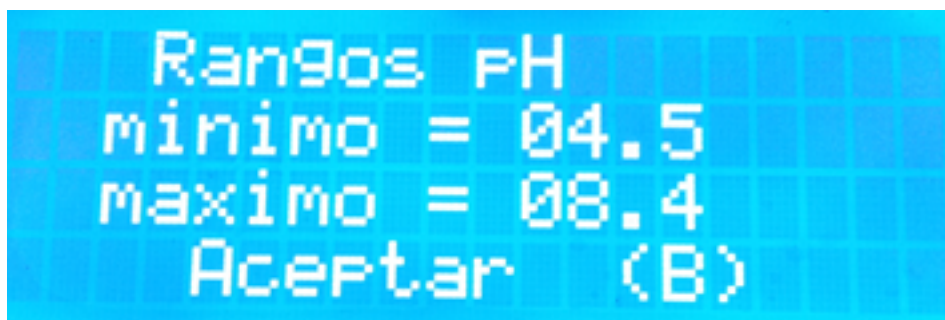


Figura 15.a Desplegado de intervalos nuevos de pH.

Una vez que se hayan ingresado los dos valores **(no se puede ingresar solo el valor mínimo o solo el rango máximo, tienen que ingresar los dos valores)** lo que prosigue es presionar la tecla “B” para que dichos valores sean almacenados en la memoria del aparato e inmediatamente se regresará al menú principal (figura #7).

5 Led indicador de intervalos de pH

El dispositivo cuenta con un led que cambia de color según sea la magnitud del pH, este indicador tiene la finalidad de que el usuario pueda tener una idea inmediata en que intervalo se encuentra dicha variable. A continuación se muestra una tabla con los valores de pH y su color respectivo al intervalo:

COLOR	INTERVALO pH
	$8.2 \leq \text{pH} \leq 8.8$
	$7.8 \leq \text{pH} < 8.2$
	$8.8 < \text{pH} < 9.2$
	$\text{pH} < 7.8$
	$\text{pH} \geq 9.2$

Tabla 1.a Relación de color de led respecto al intervalo de pH.

6 Almacenamiento de teléfonos celulares

El dispositivo cuenta con la capacidad de almacenar hasta cinco números de teléfonos celulares, en caso de que se apague el dispositivo dichos números se quedan grabados en la memoria y no hay necesidad de volverlos a almacenar.

Para grabar dichos números se debe ingresar al menú principal(figura #7) y presionar la tecla "2" y aparecerá lo siguiente:

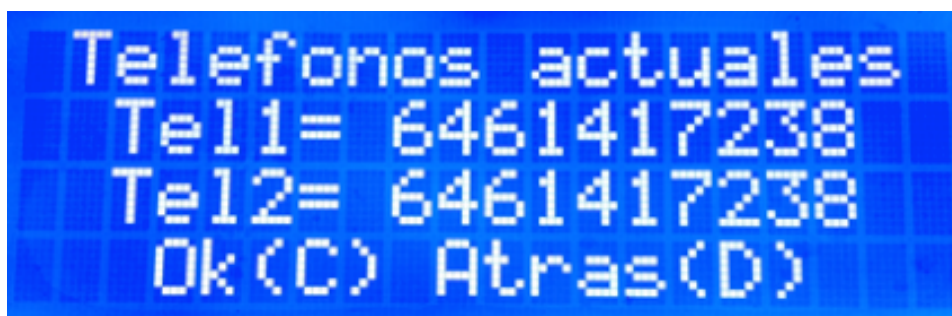


Figura 16.- Despliegado de teléfonos actuales.

Si se desea regresar al menú principal (figura #7) se presiona la tecla “D”, y si se desea cambiar los números de los teléfonos celulares se presiona la tecla “C” e inmediatamente aparecerá lo siguiente:

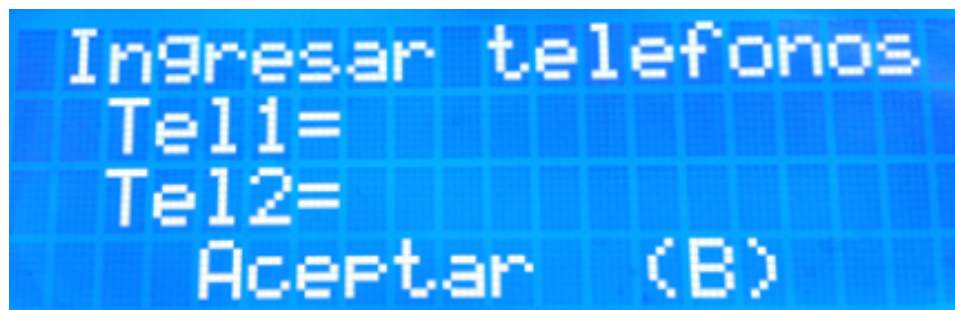


Figura 17.- Despliegado de ingreso de números de teléfonos celulares

Lo que procede es ingresar el número de teléfono 1 “Tel1”(son 10 dígitos con LADA) y enseguida se ingresa el número de teléfono 2 “Tel2 **(no se puede ingresar solo el Tel1 o solo el Tel2, tienen que ingresar los dos teléfonos)**, una vez que ya se hayan ingresado los números de teléfono, lo que sigue es presionar la tecla “B” para almacenar en la memoria del dispositivo dichos números celulares y al presionar la tecla “B” el aparato se regresara al menú principal (figura #7).

7 Tecla para borrar

Como puede ser común equivocarse al momento de estar escribiendo los rangos (de pH y temperatura) o los números de celular, el aparato tiene una tecla para borrar cualquier dígito que se desee, solo basta con presionar la tecla “#” y de esta forma se puede volver a escribir lo que se desee.

8 Cambio de clave de acceso a menú principal

El dispositivo cuenta con una clave de acceso al menú principal, esta clave esta hecha para que no cualquier usuario ajeno al laboratorio pueda manipular dicho dispositivo. La clave que tiene por default es **1234 (solo puede ser de 4 dígitos)**.

Nota: cada que el aparato se apague la clave se reiniciara a 1234, es decir, no se quedará almacenada la última clave que se guardó mientras el dispositivo estaba encendido.

Para cambiar la clave se necesita estar en el menú principal (figura #7) y presionar la tecla “3” y aparecerá lo siguiente:

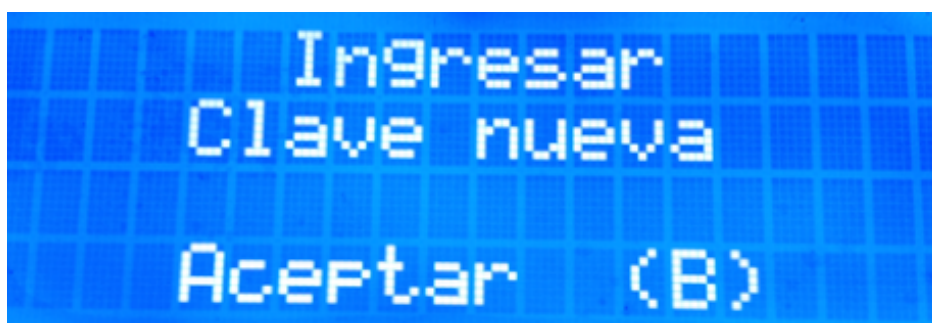


Figura 18.- Despliegado de ingreso de clave nueva.

El paso que sigue es ingresar la clave nueva que se desee (4 dígitos) para después presionar la tecla “B” para que se almacene temporalmente la clave. Una vez hecho esto el dispositivo se regresara al menú principal (figura #7).

9 Salida del menú principal

Al momento de salir del menú principal, el dispositivo entrará en su estado de operación normal (figura #3) y estará listo para ser configurado en cualquier momento que se desee.

Ahora, para salir del menú principal (figura #7) se presiona la tecla “4”e inmediatamente el dispositivo se sale de dicho menú.

Apéndice C

Manual de usuario: Instrumento de medición de pH, temperatura y amoniaco

Universidad Autónoma de Baja California



Oceánica
Laboratorio



INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA APLICADA
A SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD)

Maestría y Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (*MyDCI*)

MANUAL DE USUARIO:

Instrumento de medición de *pH*, *Temperatura* y *Amoniaco* para aplicaciones en acuicultura desarrollado para la empresa *Productos Oceánica*.

Cuerpo Académico (UABC-CA-238):

Dr. Enrique Efrén García Guerrero

Dr. Everardo Inzunza González

Dr. Oscar Roberto López Bonilla

Estudiantes de Maestría (posgrado MyDCI):

Ing. Andrés Navarro Rodríguez

Ing. César Alberto Liera Grijalva

Director Técnico *Productos Oceánica*:

M.C. José Carlos Garduño Franco

Ensenada, Baja California, 31 de noviembre de 2013



Instrucciones importantes para el manejo del instrumento.

Por favor lea detalladamente este manual antes de conectar y operar este instrumento.



Contenido

1. Descripción del instrumento	3
2. Ingreso al menú principal	4
3. Led indicador de intervalos de NH ₃	5

1 Descripción del instrumento

El medidor de pH, temperatura y % de amoniacó (NH_3 y NH_4) es un instrumento que se encarga de tomar las mediciones de pH, temperatura y amoniacó (NH_3 y NH_4) de manera autónoma y de forma continúa a través de dos sensores electrónicos, estas mediciones son mostradas en una pantalla LCD para la fácil visualización de dichas lecturas.

El instrumento cuenta con la disponibilidad de enviar mensajes de alerta y de monitoreo hasta cinco teléfonos celulares; el caso de alerta sucede cuando uno de los valores de la variable sensada se sale de algún rango establecidos en el equipo. Para el caso de monitoreo, el dispositivo manda un mensaje cada 8 horas (ajustable) con las lecturas de pH, temperatura y porcentaje de amoniacó (NH_3 y NH_4) promediadas cada una durante ese período de tiempo.

Al encender el instrumento se mostrará en la pantalla LCD los rangos de pH, temperatura y porcentaje de amoniacó (NH_3 y NH_4) y los números de los teléfonos celulares que se tienen almacenados en la memoria del aparato. A continuación se muestran unas figuras de lo explicado anteriormente:

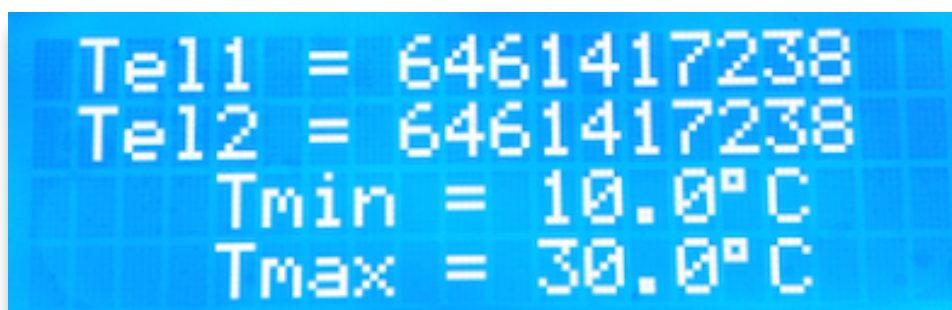


Figura 1.p Imagen de los teléfonos e intervalos de temperatura almacenados en el instrumento.

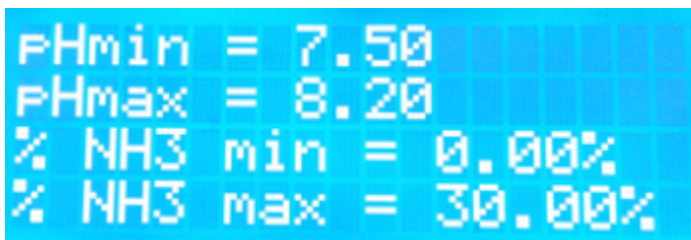


Figura 2. Imagen de los intervalos de pH y % de amoniacó almacenados en el instrumento.

Nota: Al conectar el instrumento a la red eléctrica este estará encendido y listo para operar. En caso de se desee apagar solo desconectarlo de la red eléctrica.

2 Ingreso al menú principal

Una vez que el instrumento haya mostrado los intervalos de pH, temperatura y porcentaje de amoniacó (NH₃ y NH₄) almacenados en el instrumento, mostrara en la pantalla las mediciones actuales.



Figura 3.p Imagen de los intervalos de de pH, temperatura, Total de amoniacó y porcentaje de amoniacó (NH₄ y NH₃)

Nota: En el instrumento se especificó por parte del usuario, que el total de amoniacó no debe exceder el 0.25 mg/L, por lo que los porcentajes de NH₃ y NH₄ son respecto a dicho total.

3 Led indicador de intervalos de amoníaco

El dispositivo cuenta con un led que cambia de color según sea la magnitud del % de NH₃, este indicador tiene la finalidad de que el usuario pueda tener una idea inmediata en que rango se encuentra dicha variable. A continuación se muestra una tabla con los valores de % de NH₃ y su color respectivo al intervalo:

COLOR	INTERVALO NH ₃
	$0 \leq \% \text{ NH}_3 \leq 20$
	$20 \leq \% \text{ NH}_3 \leq 50$
	$\% \text{ NH}_3 \geq 50$

Tabla 1.p Relación de color de led respecto al intervalo de NH₃.

Apéndice D

Producción académica derivada del trabajo de tesis de maestría

Publicaciones en Congreso Nacional

A. Navarro-Rodríguez, E. E. García-Guerrero, E. Inzunza-González, C. A. Liera-Grijalva, O. R. López-Bonilla, 2014. *Sistema automático para el conteo de peces utilizando sensores infrarrojos y comunicación inalámbrica*. 36^{vo} Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica Electro. Chihuahua, México.

C. A. Liera-Grijalva, E. E. García-Guerrero, E. Inzunza-González, **A. Navarro-Rodríguez**, O. R. López-Bonilla, 2014. *Sistema de control digital On-Off con histéresis de pH con comunicación inalámbrica para aplicaciones acuícolas*. 36^{vo} Congreso Internacional de Ingeniería Electrónica Electro. Chihuahua, México.

GLOSARIO

A. Ampere.

API. Application Programming Interface.

ASCII. Standard Code for Information Interchange.

cm. Centímetro.

DO. Oxígeno disuelto.

EC. Conductividad eléctrica.

EEPROM. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.

FAO. Food and Agriculture Organization.

GHz. Giga-Hertz.

GND. Ground.

GPRS. General Packet Radio Service.

GSM. Global System for Mobile communications.

GUIDE. Graphical User Interface Design Environment.

Hz. Hertz.

I2C. Inter-Integrated Circuit.

in. Pulgada.

IP. Internet Protocol.

J. Joule.

KB. Kilobyte.

kbit. Kilobit.

KCL. Cloruro de potasio.

Kg. Kilogramo.

L. Litro.

LCD. Liquid-Crystal Display.

LED. Diodo emisor de luz.

m. Metro.

mg. Miligramo.

MHz. Mega-Hertz.

MMS. Multimedia Messaging Service.

mm. Milímetro.

mV. Milivolt.

mW. MiliWatt.

MyDCI. Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería.

NH3. Amonio des-ionizado.

NH4. Amonio ionizado.

nm. Nanómetro.

NTC. Coeficiente de temperatura negativo.

PC. Computadora personal.

PCB. Printed Circuit Board.

pH. Potencial de hidrógeno.

ppm. Partes por millón.

ppt. Partes por mil.

PSI. Pounds-force per Square Inch.

PTC. Coeficiente de temperatura positivo.

PWM. Pulse-Width Modulation.

RF. Radiofrecuencia.

RGB. RED, Green, Blue.

ROM. Read Only Memory.

Rx. Receptor.

S. Siemens.

s. Segundo.

SMS. Short Message Service.

SPI. Serial Peripheral Interface.

TAN. Total de amonio nitrogenado.

TCP. Transmission Control Protocol.

TDS. Total de sólidos disueltos.

Tx. Transmisor.

UART. Universal Asynchronous Receiver-Transmitter.

USB. Universal Serial Bus.

V. Volt.

W. Watt.

WAP. Wireless Application Protocol.

WLAN. Wireless Local Area Network.

WMAN. Wireless Metropolitan Acces Network.

WPAN. Wireless Personal Area Network.

WWAN. Wireless Wide Area Networks.

μ **C.** Microcontrolador.

μ **S.** Microsiemens.

$^{\circ}$ **C.** Grado Celsius.