



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES

José Lisandro Oroxón Fuentes

Asesorado por la Inga. Ingrid Salomé Rodríguez De Loukota

Guatemala, octubre de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ LISANDRO OROXÓN FUENTES

ASESORADO POR LA INGA. INGRID SALOMÉ RODRÍGUEZ DE LOUKOTA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Óscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García a.i.
EXAMINADOR	Ing. Marvin Marino Hernández Fernández
EXAMINADORA	Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota
EXAMINADORA	Inga. María Magdalena Puente Romero
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 12 de enero de 2016.

José Lisandro Oroxón Fuentes

Guatemala 5 de septiembre de 2017

Ingeniero
Julio Cesar Solares Peñate
Coordinador del Área de Electrónica
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

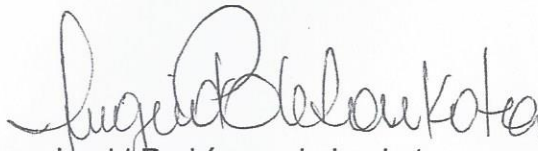
Apreciable Ingeniero Solares.

Me permito dar aprobación al trabajo de graduación titulado "**Diseño de oxigenador de agua programable para estanques**", del señor **José Lisandro Oroxón Fuentes**, por considerar que cumple con los requisitos establecidos.

Por tanto, el autor de este trabajo de graduación y, yo, como su asesora, nos hacemos responsables por el contenido y conclusiones del mismo.

Sin otro particular, me es grato saludarle.

Atentamente,



Inga. Ingrid Rodríguez de Loukota
Colegiada 5,356
Asesora

Ingrid Rodríguez de Loukota
Ingeniera en Electrónica
colegiado 5356



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 22 de septiembre de 2017

Señor Director

Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Por este medio me permito dar aprobación al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES**, desarrollado por el estudiante **José Lisandro Oroxón Fuentes**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarlo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Julio César Solares Peñate
Coordinador de Electrónica





REF. EIME 55. 2017.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **JOSÉ LISANDRO OROXÓN FUENTES** titulado: **DISEÑO DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



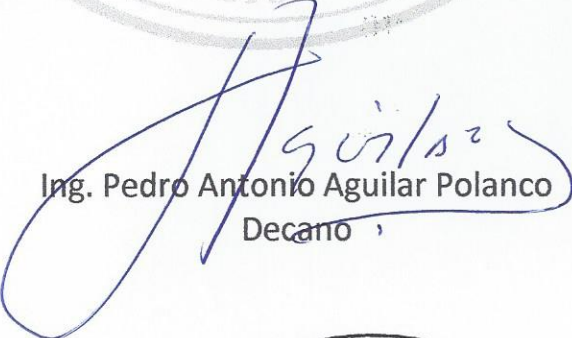
GUATEMALA, 5 DE OCTUBRE 2017.



DTG. 521.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES**, presentado por el estudiante universitario: **José Lisandro Oroxón Fuentes**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, octubre de 2017

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por regalarme la vida y permitirme alcanzar este momento, guiándome por el camino indicado y brindándome salud, fuerza y sabiduría.

Mis padres

José Lisandro Oroxón Escobar y Miriam Esperanza Fuentes Barahona, por su apoyo incondicional a lo largo de la vida y brindarme todas las herramientas necesarias para luchar por los sueños.

Mis hermanas

Miriam Esperanza y Vilma Estefany, por la comprensión, paciencia y amor que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por albergarme durante mis años de estudios superiores.

Facultad de Ingeniería

Por ser un ejemplo de formación académica a nivel nacional.

Mi asesora

Inga. Ingrid Salomé Rodríguez de Loukota, por todo su apoyo y tiempo brindado en la realización del presente trabajo.

Mis tíos y primos

Por el apoyo brindado a lo largo de mi carrera.

Mis amigos

Por las experiencias, el apoyo y la sabiduría brindada durante la carrera, pero sobre todo por generar un ambiente ameno en la universidad.

Mi padrino

Licenciado Efraín Agustín, por los consejos y palabras de aliento brindadas durante todos los años.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. OXIGENACIÓN DEL AGUA	1
1.1. El agua	1
1.1.1. Estructura y propiedades del agua.....	1
1.2. Calidad del agua.....	2
1.3. Oxígeno disuelto.....	3
1.3.1. Solubilidad	6
1.3.1.1. La solvatación.....	9
1.3.2. La turbidez	9
1.3.3. pH	11
1.3.3.1. El bióxido de carbono	13
1.3.4. Temperatura	14
2. PROCESO DE OXIGENACIÓN DEL AGUA EN ESTANQUES	17
2.1. Tipos de estanques	17
2.2. Importancia de oxigenar el agua en un estanque	20
2.2.1. Repercusiones en los peces por falta de oxígeno disuelto	20

2.2.2.	Repercusiones en los peces por exceso de oxígeno disuelto.....	21
2.3.	Cómo oxigenar el agua en un estanque.....	21
2.3.1.	Oxigenación de entrada atmosférica	22
2.3.2.	Oxigenación por organismos fotosintéticos	22
2.3.2.1.	Cómo medir la productividad de OD por fotosíntesis.....	22
2.4.	Aireación del agua.....	24
2.4.1.	Aireadores mecánicos	25
2.4.1.1.	Aireadores difusores	25
2.4.1.2.	Aireadores de paleta	26
2.5.	Oxigenadores.....	27
2.5.1.	Oxigenador de tubo en U.....	28
2.5.2.	Oxigenador de cono	29
3.	COMPONENTES ELECTRÓNICOS.....	33
3.1.	Arduino.....	33
3.1.1.	¿Por qué utilizar Arduino?	35
3.1.2.	Alimentación	37
3.1.3.	Pines de alimentación.....	38
3.1.4.	Pines de entrada y salida	39
3.1.5.	Comunicación.....	43
3.2.	Sensor de presión barométrica	43
3.3.	Sensor de temperatura sumergible	47
3.3.1.	Características del DS18B20.....	47
3.3.2.	Descripción de PIN DS18B20.....	48
3.3.3.	Sistema de bus Onewire.....	50
3.4.	Módulo <i>Bluetooth</i>	51
3.4.1.	El <i>Bluetooth</i>	51

3.4.2.	Módulo <i>Bluetooth</i> HC-06	52
3.4.2.1.	Comando AT	53
4.	PROPUESTA DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES	55
4.1.	Lógica del sistema de sistema.....	57
4.2.	Programación de Arduino	57
4.2.1.	Medición de sensor de temperatura interno.....	58
4.2.2.	Sensor de presión barométrica y temperatura superficial.....	60
4.2.3.	Cálculo de oxígeno disuelto desde la temperatura media.....	62
4.3.	Recepción y envío de datos	62
4.3.1.	Envío de datos	62
4.3.2.	Recepción de datos en Android	63
4.3.3.	Actualización de datos del sistema	64
4.3.4.	Modo manual	66
4.3.5.	Modo automático.....	67
4.4.	Acople de potencia	68
5.	MANUAL DE USUARIO. APLICACIÓN DE CONTROL OD.....	71
5.1.	Requerimientos mínimos del sistema.....	71
5.2.	Guía de instalación de aplicación	71
5.3.	Guía de configuración.....	74
5.3.1.	Actualización de parámetros.....	75
5.3.2.	Enviar parámetros nuevos	76
5.3.3.	Modo manual o automático	76
	CONCLUSIONES	79

RECOMENDACIONES	81
BIBLIOGRAFÍA.....	83
APÉNDICES.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Enlace covalente de moléculas de agua	2
2.	Forma de respiración del pez	5
3.	Solubilidad del OD en el agua	8
4.	Proceso de solvatación del agua	9
5.	Turbidez de distintas muestras de agua medida en UNT	10
6.	Efectos de la alcalinidad sobre las variaciones diarias de pH	12
7.	Estratificación del agua	15
8.	Estanque de concreto	18
9.	Estanque de tierra con arcilla	19
10.	Estanque prefabricado de fibra de vidrio	20
11.	Medición de OD por fotosíntesis	23
12.	Aireador difusor	26
13.	Aireador de paletas	27
14.	Oxigenador de tubo en U	28
15.	Oxigenador de tubo en U	29
16.	Esquema de oxigenador de cono	30
17.	Oxigenador de cono para estanques	30
18.	Logotipo Arduino	34
19.	Placa Arduino Mega 2560	36
20.	Entradas de alimentación Arduino	38
21.	Pines de alimentación	39
22.	Sensor barométrico BMP180	44
23.	Flancos de SDA y SCL de BMP180	45

24.	Proceso de medición de BMP180.....	46
25.	Sensor DS18B20	48
26.	Error típico del sensor DS18B20.....	49
27.	Diagrama OneWire de sensor DS18B20	50
28.	Logotipo de Bluetooth	51
29.	Diagrama de flujo de oxigenador de agua programable	56
30.	<i>Sketch</i> de programación Arduino.....	57
31.	Sensor de temperatura interno	58
32.	Conexión física DS18B20	59
33.	Programación de medición de sensor bmp180.....	61
34.	Programación de cálculo de OD	62
35.	Programación de envío de datos	63
36.	Bloque de recepción de datos mediante <i>Bluetooth</i>	64
37.	Programación para actualizar datos en Arduino	65
38.	Programación para actualizar datos en aplicación.....	66
39.	Programación en modo manual Android.....	67
40.	Programación en modo automático en Arduino.....	68
41.	Programación de Arduino de encendido y apagado de bomba	69
42.	Diagrama esquemático de acople de potencia	70
43.	Paquete APK de instalación	71
44.	Confirmación de instalación de aplicación	72
45.	Instalación de aplicativo	72
46.	Confirmación de instalación correcta de la aplicación	73
47.	Pantalla de solicitud de permiso <i>Bluetooth</i>	73
48.	Ícono de aplicación	74
49.	Aplicación de Control OD.....	75
50.	Cambio de modo manual a automático	77

TABLAS

I.	Solubilidad del oxígeno en el agua, en función de la temperatura y presión atmosférica 1 atm.	7
II.	Ejemplos de pH.....	13
III.	Especificaciones de Arduino Mega 2560	37
IV.	Lista de pines Arduino Mega 2560	40
V.	Pines BPM180	47
VI.	Descripción de pines del sensor de temperatura DS18D20.....	48
VII.	Pines de módulo Bluetooth HC-06	52
VIII.	Comandos de configuración AT de módulo HC-06	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
I2C	Circuito interintegrado
CO ₂	Dióxido de carbono
GHZ	Giga Hertz
hPa	Hecto Pascales
Mhz	Mega Hertz
m	Metro
PWM	Modulación por ancho de pulsos
nm	Nanómetro
OD	Oxígeno disuelto
PPM	Partes por millón
Pa	Pascales
pH	Potencial de hidrógeno
PWM	<i>Pulse With Modulation</i>
UART	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
UNT	Unidades Nefelométricas de turbidez

GLOSARIO

Metano	Gas incoloro, inodoro e inflamable, que se produce por la descomposición de la materia orgánica.
Partes por millón	Es un equivalente a 1 miligramo por litro o gramo por metro cúbico.
Presión atmosférica	Presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie de la Tierra.
PWM	La modulación por ancho de pulsos de una señal o fuente de energía, es una técnica de modificación de una señal periódica por una señal por pulsos.
Solubilidad	Capacidad de una sustancia o un cuerpo para disolverse al mezclarse con un líquido.

RESUMEN

En este trabajo de graduación se desarrolla un diseño de oxigenador de agua programable para estanques. La simplicidad, bajo costo y funcionalidad son parte de las ventajas competitivas que posee el dispositivo.

El diseño del oxigenador de agua programable para estanques fue realizado con un entorno gráfico, el cual permite al usuario el monitoreo y la programación adecuada de los parámetros requeridos, para establecer un ecosistema acuático específico e ideal para los peces de distintas especies.

El oxígeno disuelto en el agua es parte fundamental del crecimiento de las especies contenidas dentro del estanque. La transferencia de gases desde la atmósfera hacia el agua se realiza mediante la aireación del agua. Este proceso se lleva a cabo mediante el movimiento de agua que se realiza por el empuje de aire desde el exterior hacia la parte interna del estanque.

La cantidad de oxígeno disuelto en un estanque es determinada por la temperatura del agua y la presión atmosférica sensible en el espejo de agua. El usuario con esta información puede programar el sistema desde una aplicación, a fin de poder establecer los parámetros ideales para los peces.

El oxigenador de agua programable para estanques fue diseñado con elementos comerciales, los cuales fueron elegidos para diagramar un prototipo que pueda satisfacer las necesidades que se tienen en este campo de aplicación.

OBJETIVOS

General

Elaborar un diseño de oxigenador de agua programable para estanques.

Específicos

1. Presentar los conceptos básicos de la oxigenación del agua.
2. Mostrar el proceso para oxigenar el agua en un estanque.
3. Dar a conocer las características de los elementos electrónicos propuestos para el oxigenador de agua programable para estanques.
4. Brindar una propuesta de diseño de un oxigenador de agua programable.
5. Demostrar la forma correcta de utilizar la aplicación de *Android Control OD*.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en Guatemala, la crianza de peces, ya sea para la producción masiva o casera, es una actividad con poco desarrollo, a pesar de estar posicionados geográficamente con ventaja para criar peces de distintos tipos, debido a que no se tiene el conocimiento o información adecuada para una mejor utilización de los recursos hídricos. El presente trabajo ha recopilado información sobre el proceso adecuado de oxigenación del agua. Asimismo, contiene especificaciones sobre un diseño de oxigenador de agua programable para estanques, el cual engloba las descripciones específicas de medición de parámetros que influyen en la generación de oxígeno disuelto en el agua, la programación específica de un oxigenador llamado control OD y la aireación del agua dependiendo de la solicitud del usuario.

En la crianza de peces existen factores como la temperatura, el oxígeno disuelto, la salinidad, la presión atmosférica y la cantidad de oxígeno disuelto, los cuales pueden afectar el desarrollo físico de los especímenes que contienen un estanque. La medición de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua es el punto más crítico, esto se debe a que del mismo depende la oxigenación de los peces, y también de la temperatura del agua y del movimiento que se le ejerza dentro del estanque para la solvatación del oxígeno.

Un medidor de oxígeno disuelto tiene un costo aproximado de Q 11 603,18 en el mercado actual, lo cual implica un costo alto para realizar y mantener un estanque con la cantidad adecuada de oxígeno disuelto. El diseño planteado pretende bajar los costos de compra de este instrumento de medición

y emplear un sistema que efectúe mediciones constantes y en tiempo real, lo cual da la ventaja de control sobre las condiciones ideales para un estanque.

La baja de la cantidad de oxígeno disuelto en un estanque conlleva la muerte de las especies que vivan dentro del mismo. Idealmente se requiere realizar acciones adecuadas, en este caso oxigenar el agua con un aireador y establecer la condición requerida para que los peces tengan la cantidad adecuada de oxígeno para su desarrollo.

1. OXIGENACIÓN DEL AGUA

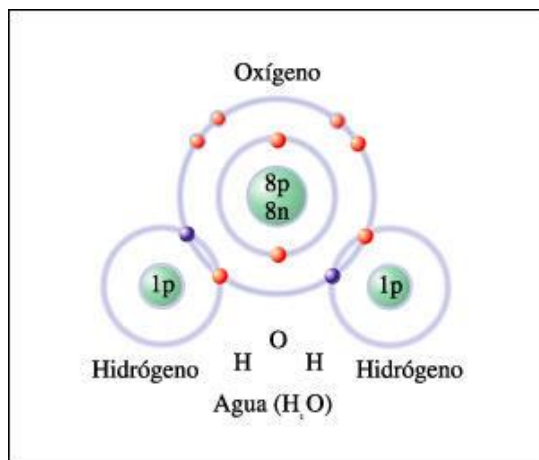
1.1. El agua

Es el elemento más importante de todos los compuestos básicos del mundo y de la materia viva. Es una sustancia que puede estar en estado líquido, sólido y gaseoso. En estado líquido idealmente se requiere sea transparente, inodora, incolora e insípida. Es fundamental para el desarrollo de la vida dentro del planeta tierra. Está compuesta molecularmente por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O).

1.1.1. Estructura y propiedades del agua

La molécula de agua está formada por dos átomos de H unidos a un átomo de O por medio de dos enlaces covalentes. El ángulo generado entre estos enlaces es de 104,5 grados. El oxígeno es más electronegativo que el hidrógeno y atrae con más fuerza a los electrones de los enlaces.

Figura 1. **Enlace covalente de moléculas de agua**



Fuente: *Las maravillas del agua. ¿De dónde y para qué sirve?*. http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centrostatic/14700584/helvia/aula/archivos/_22/html/2249/molecula_agua01.jpg.

Consulta: 26 de marzo de 2016.

El punto de fusión del agua es a 0 grados centígrados y el punto de ebullición es a los 100 grados centígrados.

1.2. Calidad del agua

El término calidad del agua es relativo y tiene una alta importancia si se relaciona con el uso de este recurso vital. Esto indica que una fuente limpia de agua no necesariamente es adecuada para usos como bañarse y beberla, pero sí adecuada para sostener la vida marina. En el término calidad del agua se abarcan todos los parámetros variables físicos, químicos y biológicos que influyen en la producción de especies acuáticas. Los factores físicos relacionados con el tiempo, clima y presión atmosférica son poco controlables en el ecosistema acuático.

Para determinar si el agua califica para su uso, es necesario establecer su uso primordial y determinar la calidad que necesita tener para que sea funcional, tomando en cuenta parámetros de medición mínimos y máximos sobre los eventos que pueden afectarla. Para lograr una producción buena es imperativo mantener las condiciones ambientales del agua dentro de los parámetros máximos y mínimos tolerables para la especie con la cual se esté manejando un cultivo dentro de un estanque. El agua tiene características físico-químicas muy diversas. Las propiedades del agua de mayor interés para la piscicultura se relacionan con los cambios en su temperatura y estado físico, los cuales ocurren cuando varía su energía, además las concentraciones químicas varían en concentraciones de gases.

El buen desarrollo de los organismos acuáticos dentro del ecosistema marino depende en gran parte de la calidad del agua del cultivo. Factores múltiples interactúan para alterar las propiedades físico-químicas del agua. Un cambio repentino en la temperatura implicaría también cambios en el oxígeno disuelto; estos cambios pueden resultar en una mortalidad masiva de los animales. Cambios menos drásticos pueden generar una intolerancia a los efectos patógenos que siempre están presentes en el agua. Los problemas en condiciones subóptimas tienen como resultado efectos adversos sobre los animales, es decir ritmo lento de crecimiento y un incremento en la tasa de mortandad.

1.3. Oxígeno disuelto

Se refiere a la cantidad de oxígeno que está disuelto en el agua. Su presencia es esencial y proviene principalmente del aire. La disponibilidad del oxígeno es una limitante muy grande en la actividad y crecimiento físico de los animales acuáticos. Una concentración baja de oxígeno disuelto reduce el

consumo de alimentos, digestión y crecimiento de los especímenes acuáticos y los vuelve muy susceptibles a enfermedades. Este parámetro puede dar indicaciones de cómo se encuentra el agua, ya que niveles bajos o ausencia del elemento puede indicar la cantidad de contaminación que existe, las condiciones sépticas de la materia orgánica o una alta actividad bacteriana en el líquido.

La concentración de oxígeno en las soluciones de agua en los estanques es considerada como uno de los parámetros variables más importantes en la piscicultura, ya que de muchas maneras este parámetro es un indicador del estado general del ecosistema marino. Es de suma importancia saber el nivel de oxígeno disuelto en la solución de agua del estanque, así como determinar y entender los factores que interactúan en el cambio de este parámetro.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua cruda depende de algunas variables tales como la temperatura, la presión atmosférica y la mineralización del agua. No es posible determinar un contenido ideal de oxígeno en el agua, debido a que hay aspectos positivos y negativos de su presencia, sin embargo, si el agua contiene amoníaco, hierro y/o manganeso en mínimas cantidades, es preferible que el oxígeno disuelto esté cercano al punto de saturación.

Figura 2. **Forma de respiración del pez**



Fuente: *Ecosistemas acuáticos. Oxígeno disuelto*. <http://1.bp.blogspot.com/-rW4GS2DINuU/T9fwZOiKFBII/AAAAAAAAADQ/NdWX9OBSHe/s1600/ecosistemas16.png>
Consulta: 4 de abril de 2016.

La solubilidad del oxígeno en el agua disminuye mientras baja la presión atmosférica. A una altura mayor sobre el nivel del mar el agua puede tener una cantidad menor de oxígeno disuelto. El OD se mantiene soluble en el agua debido a la presión parcial del oxígeno que se tiene en el aire y la presión atmosférica, así como un incremento en la salinidad del agua disminuye la capacidad de esta para mantener un gas soluble en ella. Las moléculas de oxígeno son desplazadas por las moléculas de sal que se encuentran en el agua y esto disminuye la cantidad de oxígeno que hay en el estanque. Al subir

la temperatura del agua, esta pierde sus capacidades de mantener gases solubles, por lo cual en las épocas con una mayor temperatura es mucho más difícil mantener condiciones óptimas de concentración de oxígeno en el agua.

1.3.1. Solubilidad

Se refiere a la capacidad de una sustancia de disolverse en otra. La sustancia que se disuelve se conoce como soluto, mientras que la sustancia que recibe el soluto se llama disolvente. La solubilidad del agua se debe a que este se forma con una molécula bipolar y esto hace que tenga un comportamiento similar al de un imán, atrayendo y/o repeliendo algunos átomos de otras sustancias con las cuales interactúa.

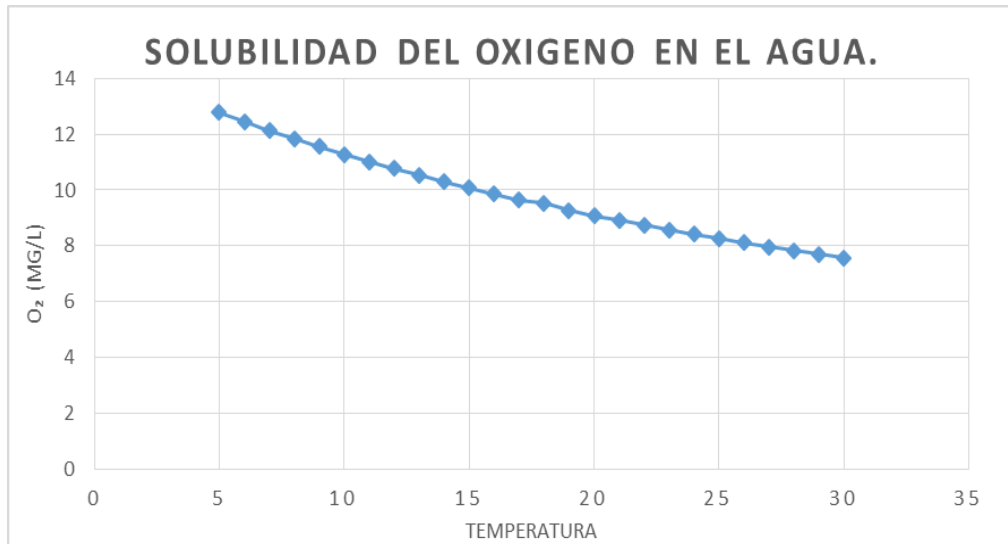
El agua es el líquido que más sustancias puede disolver, por eso se dice que es el disolvente universal, esto se debe a que tiene la capacidad de formar puentes de hidrógeno que pueden presentar grupos polares, como se forman al realizar una mezcla de sustancias con los alcoholes, azúcares, proteínas; también el agua puede disolver sustancias salinas que forman disoluciones iónicas. La solubilidad se ve afectada por diferentes factores y se determina por el equilibrio de las fuerzas internas que hay entre el soluto y el disolvente. La temperatura y la presión son factores que rompen el equilibrio de la solubilidad.

Tabla I. **Solubilidad del oxígeno en el agua, en función de la temperatura y presión atmosférica 1 atm.**

T(°C)	O₂ (mg/l)
5	12,77
6	12,45
7	12,13
8	11,84
9	11,55
10	11,28
11	11,02
12	10,77
13	10,53
14	10,29
15	10,07
16	9,86
17	9,65
18	9,54
19	9,27
20	9,08
21	8,91
22	8,74
23	8,57
24	8,42
25	8,26
26	8,12
27	7,97
28	7,84
29	7,7
30	7,57

Fuente: MEYER, Daniel E. *Introducción a la acuicultura*. p. 89.

Figura 3. Solubilidad del OD en el agua



Fuente: elaboración propia.

Dependiendo de las condiciones de la solubilidad, puede haber distintos tipos:

- Solución dividida: la cantidad de soluto aparece en una porción mínima en comparación al volumen del disolvente.
- Solución concentrada: una cantidad importante de soluto en el volumen de disolvente.
- Solución saturada: cuenta con mayor cantidad de soluto que de disolvente.

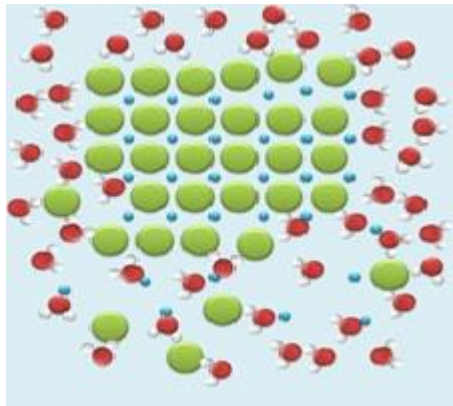
Cuando el oxígeno disuelto está por debajo del punto de saturación, el flujo neto de moléculas de oxígeno va desde el aire hacia el agua. En el punto de saturación el número de moléculas entrantes es igual al número de

moléculas salientes y, cuando este está sobresaturado, existe un flujo neto de moléculas de agua hacia el aire.

1.3.1.1. La solvatación

La solvatación es un proceso de atracción y agrupación de moléculas de un disolvente. La forma en que el agua disuelve a los solutos se llama proceso de solvatación, este se da debido a que las moléculas de agua rompen las moléculas que interactúan con el soluto.

Figura 4. **Proceso de solvatación del agua**



Fuente: *Química orgánica. Proceso de solvatación.* <http://1.bp.blogspot.com/-CfqTNvTVobg/UISGXg06hDI/AAAAAAAAAIs/2N9uWYgmHeg/s1600/fig1.jpg>

Consulta: 4 de abril de 2016.

1.3.2. La turbidez

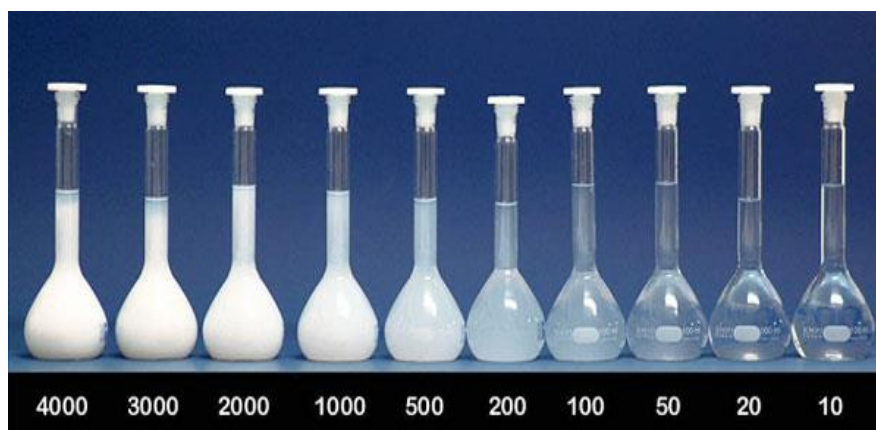
La turbidez es la dificultad con la que la luz puede ser transmitida dentro del agua, esto se debe a solutos insolubles en suspensión, coloidales o finos. Estos son difíciles de filtrar y pueden dar lugar a la desoxigenación del agua,

debido a que la luz que atraviesa la superficie del agua se ve disminuida en gran cantidad en las profundidades. Esto da paso a que la fotosíntesis de los agentes bacterianos que se encuentran en el agua se de en la superficie y se concentre en menor cantidad el OD en el fondo del estanque.

La turbidez da paso al origen de coloides. Estas partículas son las que por su tamaño se encuentran en la superficie del agua y reducen la transparencia, además absorben mayor energía de los rayos solares, generando el incremento de la temperatura en el agua y reduciendo la generación de OD por difusión.

La concentración más baja de OD se da en la madrugada, debido a la falta de luz para la fotosíntesis de algas que se encuentran en el agua. La máxima concentración se da en horas de la tarde. La unidad de medición de la turbidez es UNT. En la figura 5 se puede observar distintos recipientes con muestras de agua con diferente turbidez.

Figura 5. **Turbidez de distintas muestras de agua medida en UNT**



Fuente: *Global Spec. Normas de turbidez de la formazina.* http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/201312/FTUNTU_Turbidity1f422ae311cd4f2aaf6d8b125f5e10db.png. Consulta: 26 de marzo de 2016.

1.3.3. pH

El pH representa la medida de la concentración de iones de hidrógeno en el agua, o bien protones (H^+). Esto indica si el agua es ácida o básica, tiene una escala de medición de 0 a 14; un valor de 7 produce agua neutra, los valores por debajo de 7 indican un valor elevado de protones y producen agua ácida, mientras que un valor por encima de 7 se considera básico e indica una baja concentración de protones dentro del líquido.

El pH se debe sobre todo al equilibrio carbónico y a la actividad de los microorganismos que se encuentran en el agua. El equilibrio carbónico se debe a la secuencia de equilibrio de la disolución de CO_2 en el agua, la subsiguiente disolución de carbonatos e insolubilización de bicarbonatos alteran drásticamente el pH. También la actividad de los microorganismos afecta el pH. Debido a la actividad fotosintética reducen el contenido de CO_2 , mientras que la respiración de los organismos que se encuentran dentro del estanque produce una cantidad mayor de dióxido de carbono afectando el pH del estanque.

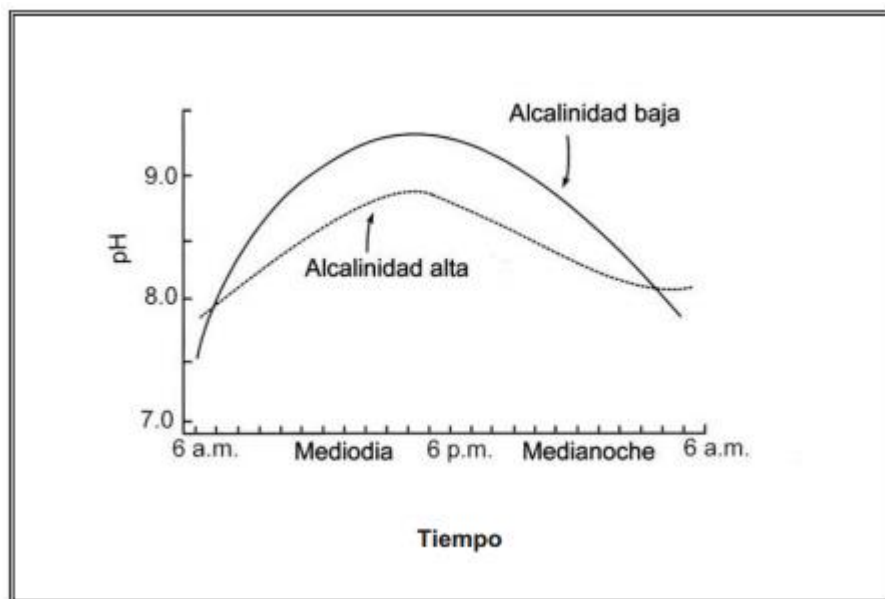
Durante el día las algas que se encuentran dentro del estanque utilizan el CO_2 para realizar su fotosíntesis. Al reducir la concentración de dióxido de carbono sube el pH del agua. Por las noches, caso contrario, no se produce fotosíntesis debido a que no se tienen rayos de sol y la respiración de los organismos aeróbicos, tales como los peces, camarones y demás animales que se encuentren dentro del estanque, produce una cantidad mayor de CO_2 , y la concentración de este aumenta, haciendo que el agua se vuelva más ácida debido a que baja su pH.

El pH se define como los logaritmos negativos de concentración de iones de hidrógeno:

$$\text{pH} = -\log(\text{H}^+)$$

El ciclo diario del pH se ilustra en la figura 6. La fluctuación diaria de pH en un estanque.

Figura 6. **Efectos de la alcalinidad sobre las variaciones diarias de pH**



Fuente: BOYD, Claude E. *Calidad del agua*. p. 75.

Los valores extremos que resultan letales para la biota acuática en el espectro alcalino son: un pH mayor a 11 y, en el ácido, si este es menor a 4. En la siguiente tabla se dan ejemplos de ácidos, neutros y básicos del agua.

Tabla II. Ejemplos de pH

	H ⁺	Ph	ejemplo
ácidos	1x10e0	0	ácido clorhídrico
	1x10e-1	1	ácido estomacal
	1x10e-2	2	jugo de limón
	1x10e-3	3	vinagre
	1x10e-4	4	soda
	1x10e-5	5	agua de lluvia
	1x10e-6	6	leche
neutro	1x10e-7	7	agua pura
básicos	1x10e-8	8	claras de huevo
	1x10e-9	9	levadura
	1x10e-10	10	antiácidos
	1x10e-11	11	amoníaco
	1x10e-12	12	caliza mineral
	1x10e-13	13	destapador de fosas sépticas
	1x10e-14	14	hidróxido de sodio

Fuente: elaboración propia.

1.3.3.1. El bióxido de carbono

El CO₂ está presente en la atmósfera en bajas concentraciones. Este gas es bastante soluble en el agua, producto de la respiración aeróbica de los organismos. Es utilizado por las plantas verdes en la fotosíntesis y en las aguas fértiles; las algas realizan toda la actividad fotosintética gracias a este gas.

Los peces pueden tolerar gran concentración de CO₂ siempre y cuando tengan suficiente oxígeno para respirar. En los cultivos de peces, siempre que existe una cantidad elevada de bióxido de carbono, existe la posibilidad muy

grande de que exista una cantidad bastante pequeña de oxígeno, y esto afecta su respiración, teniendo así problemas en la generación de OD.

1.3.4. Temperatura

Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua. Generalmente influye en el retraso y/o aceleración de la actividad biológica dentro del estanque, en la absorción de oxígeno de las especies, la descomposición de sustancias, la desinfección y múltiples factores ambientales.

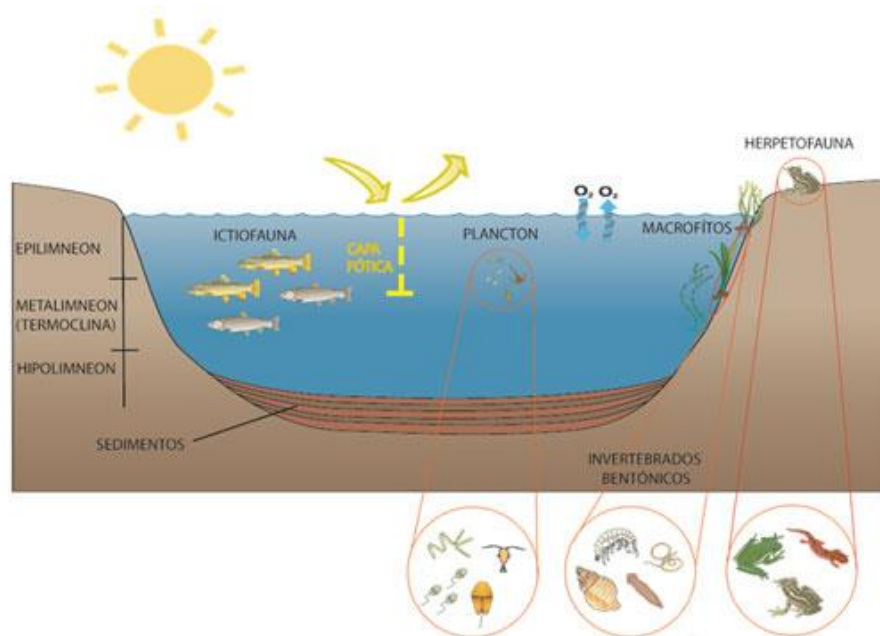
Cuando se evalúa la temperatura, lo que se está evaluando en realidad es la cantidad de energía que contiene. Cuando una sustancia se encuentra más caliente contiene una cantidad de energía bastante grande y cuando se enfría está perdiendo energía. En cuerpos de agua los cambios de temperatura no son graduales, debido al elevado valor de calor específico que maneja el agua.

Los peces son considerados animales de sangre fría, ellos no pueden mantener una temperatura elevada y constante en su cuerpo, así que su temperatura depende en gran parte de la temperatura que se maneje en el agua donde viven. La temperatura corporal del pez influye en gran parte en su metabolismo y ritmo de crecimiento. Estos animales están adaptados a medios que sufren cambios de temperatura gradualmente. Los peces tropicales se desarrollan de mejor manera en aguas con temperaturas entre los 25° y 32° grados centígrados. En lugares tropicales o subtropicales, como Guatemala, la temperatura se mantiene dentro de este rango la mayor parte del año, haciendo así predecible el metabolismo de los animales.

Si la temperatura se mantiene relativamente baja, su crecimiento será lento, y al contrario, si la temperatura es muy alta tendrán un crecimiento acelerado. Se debe recordar que el agua caliente no tiene la capacidad de mantener una cantidad saturada de OD, por lo cual a estas temperaturas se requiere la generación de una gran cantidad de OD por algún método externo, lo cual, de no ser efectivo, podría generar enfermedades en los animales.

El calor penetra la superficie del agua y calienta la capa de superficie más rápido que la del fondo, esto se debe al cambio de densidad del agua. La capa de agua superficial puede ser tan caliente y ligera que puede no mezclarse con el agua a diferente temperatura del fondo. A esto se le denomina estratificación termal.

Figura 7. **Estratificación del agua**



Fuente: ZCO-Zaragoza Club Odisea. Los lagos. <https://zco1999.files.wordpress.com/2010/04/ecosistemaibon.jpg>. Consulta: 4 de abril de 2016.

Este se divide en tres partes:

- Epilimnio es la capa superficial del agua, en la cual la temperatura es más elevada y rica en organismos.
- Metalimneon es una capa dentro del cuerpo de agua donde la temperatura cambia rápidamente a una temperatura inferior.
- Hipolimneon es la zona profunda de temperatura más fría, próxima a los 4° C.

En general, los peces no soportan los cambios bruscos de temperatura del agua. Esto tiene especial relevancia durante el transporte de animales. Al pasar de un recipiente a otro, un aumento o disminución de temperaturas mayores a los 5° grados centígrados puede causar tensión o estrés en los órganos y esto puede resultar en la muerte de las especies.

2. PROCESO DE OXIGENACIÓN DEL AGUA EN ESTANQUES

La oxigenación del agua en un estanque es una parte fundamental en la supervivencia de los elementos que componen dicho estanque, es decir peces de diversas especies, algas y bacterias que se encuentran en el agua. Las beneficiosas bacterias aerobias requieren de oxígeno para poder sobrevivir, mientras que las anaerobias, que causan el deterioro del ecosistema y el hedor del líquido, pueden vivir sin este gas.

Partiendo de este punto, se puede afirmar que, con una insuficiente cantidad de oxígeno disuelto en el agua, este deteriora su calidad y, por lo tanto, el ecosistema acuático. La cantidad óptima de oxígeno disuelto hace que este mismo tenga una vida abundante, pudiendo darle la mayor importancia a la generación y medición de estos niveles de gas.

2.1. Tipos de estanques

La oxigenación del agua en un estanque es una parte crucial en el desarrollo de los seres que viven en él. De la cantidad de oxígeno disuelto que se tenga dentro del estanque dependerá el buen o mal desarrollo de los peces.

Como primer punto, se debe definir la existencia de diversos tipos de estanques, y de ello depende mucho la forma de oxigenar el agua.

- Estanques de cemento: son aquellos en que el fondo y las paredes del estanque están recubiertas con cemento. Estos estanques pueden ser excavados o contruidos sobre la superficie del terreno con paredes

laterales que conforman un tanque. Normalmente son frisados con cemento, al cual se adicionan ciertos productos impermeabilizantes.

Figura 8. **Estanque de concreto**



Fuente: *El estanque. Construcción de estanques.* http://i129.photobucket.com/albums/p208/rotsen_photos/estanque/CharcoIII-4.jpg. Consulta: 14 de mayo de 2016.

- Estanques de tierra: estos estanques son básicamente huecos. Se hacen en ciertas áreas del terreno y posteriormente se llenan con agua formando el estanque. Para su construcción debe tenerse en cuenta de que el sustrato debe ser rico en arcilla, de manera que el fondo del tanque sea lo más impermeable posible al agua, para evitar pérdidas.

Figura 9. **Estanque de tierra con arcilla**



Fuente: *El estanque. Construcción de estanques.* http://www.elestanque.com/imagenesweb/equipos/pond8_jp60.jpg. Consulta: 14 de mayo de 2016.

- Prefabricados: en esta categoría se encuentran los estanques de plástico, poliuretano, fibra de vidrio, fibrocemento, entre otros. Tienen la ventaja de su rápida y fácil colocación y están disponibles en variedad de modelos. Estos son los más utilizados en casas, edificios y lugares donde se desea un estanque pero no se tiene la disponibilidad de excavación en el suelo.

Figura 10. Estanque prefabricado de fibra de vidrio



Fuente: *El estanque. Construcción de estanques*. <http://fotos.subefotos.com/42dd72559837fd3f54e4dd41d1e2115do.jpg>. Consulta: 14 de mayo de 2016.

2.2. Importancia de oxigenar el agua en un estanque

El estanque es parte fundamental debido a que contiene el cuerpo de agua que necesitan los peces para subsistir. Una de las causas de la mortandad o deficiencia en el desarrollo de los animales de forma correcta en el estanque es la falta de oxígeno disuelto (OD) dentro del cuerpo de agua. Oxigenar el estanque es una parte muy importante en el desarrollo de los mismos; la mala oxigenación, ya sea por sobresaturación o por falta de oxígeno, repercute totalmente en el desarrollo de un ser vivo.

2.2.1. Repercusiones en los peces por falta de oxígeno disuelto

Los peces dentro de un estanque que se encuentre con falta de oxígeno disuelto pueden desarrollar diversas enfermedades, tales como la branquitis o

inflamación de sus branquias, debido a que el pez debe esforzarse más por respirar por la falta de OD. La falta de oxígeno disuelto en las partes más profundas del estanque hará que el pez tenga que salir a la superficie a capturar oxígeno y esto puede ocasionar que el pez adquiera bacterias que se encuentran en la superficie, como la costia, que se manifiesta en el pez con manchas opacas en el cuerpo y las escamas.

2.2.2. Repercusiones en los peces por exceso de oxígeno disuelto

Tal como la concentración adecuada de oxígeno en un estanque es beneficiosa para los peces y demás seres que viven ahí, la falta y el exceso de OD también es perjudicial. En este caso se tomará en cuenta el exceso de oxígeno disuelto.

El exceso de oxígeno disuelto en un estanque de más del doble de 5 ó 10 mg/l puede conllevar la adquisición de una enfermedad conocida como embolia gaseosa, la cual puede causar la muerte de los peces. Los síntomas son fáciles de detectar, al observar al pez este tendrá pequeñas burbujas en las aletas. La forma de tratar es quitando oxígeno disuelto, puede ser variando la temperatura o apagando los aireadores de agua.

2.3. Cómo oxigenar el agua en un estanque

La entrada de oxígeno al agua incluye dos procesos: la entrada de oxígeno atmosférico y la generación de oxígeno dentro del cuerpo de agua por la actividad de organismos fotosintéticos.

2.3.1. Oxigenación de entrada atmosférica

Esta se da con la transferencia de gases desde la atmósfera hacia el agua. Este fenómeno se da por la interacción del espejo superficial de agua con la presión atmosférica. Las moléculas de gas son intercambiadas entre un líquido y un gas. Este proceso bioquímico y biológico da como resultado una interface gas-líquido, la cual, para el ecosistema, consiste en una saturación de gas, en este caso oxígeno disuelto en el agua. Sobre la medición de la transferencia de oxígeno hacia el agua, se dice que es directamente proporcional a: mayor presión, mayor oxígeno disuelto.

2.3.2. Oxigenación por organismos fotosintéticos

Las algas en un estanque se encargan de generar oxígeno debido a un proceso fotosintético. La mayor parte del oxígeno en un estanque con algas proviene de la actividad fotosintética. El oxígeno derivado del proceso de fotosíntesis se produce como resultado de la fotólisis del agua, lo cual se refiere a la ruptura de enlaces químicos en esta, causados por la energía radiante, en este caso la energía que genera la luz.

2.3.2.1. Cómo medir la productividad de OD por fotosíntesis

Se debe medir la productividad primaria. Esta se describe como la velocidad a la cual las plantas y otros organismos fotosintéticos producen compuestos orgánicos en un ecosistema. Se divide en dos partes: la producción en bruto y la productividad neta.

- En bruto: se refiere a toda la productividad fotosintética de compuestos orgánicos en el sistema.
- Productividad neta: los materiales orgánicos que se generan tras la utilización de algunos compuestos para la respiración celular.

No se puede medir la productividad bruta directamente en un estanque compuesto por organismos fotosintéticos, debido a que, al igual que los peces, estos necesitan de este recurso para poder respirar, lo cual hace que esté ocurriendo el consumo y la generación al mismo tiempo; así pues, se debe medir indirectamente.

Se mide como primer punto la generación de oxígeno durante el día, que es cuando se produce la fotosíntesis. El segundo paso es medir el consumo de O_2 durante la obscuridad (noche). En este punto la generación de O_2 es mínima, debido a que no se produce la fotólisis del agua. Para determinar esto se realiza una resta de ambas mediciones. Se dice que la productividad bruta es durante el día y durante la noche el consumo, lo cual indicaría que la productividad neta es la resta de ambas mediciones.

Figura 11. **Medición de OD por fotosíntesis**



Fuente: *El lugar de la biología. Productividad primaria.* http://www.phschool.com/science/biology_place/labbench/lab12/images/primpro2.gif. Consulta: 4 de noviembre de 2016.

2.4. Aireación del agua

La aireación es un proceso al cual se somete el agua, que consiste en incrementar el contacto con el aire con el propósito primordial de incrementar el contenido de oxígeno disuelto dentro del estanque. Parte fundamental de airear el agua es inyectar OD al mismo, pero también ayuda a desechar aquellos gases que no son necesarios en el cuerpo acuático. Puede ayudar a reducir el CO_2 , a la remoción del metano, sulfuro de hidrógeno y otros compuestos orgánicos volátiles, los cuales son responsables de conferirle al agua sabor y olor.

La transferencia de O_2 del aire con el agua es de aproximadamente 47 ppm, suponiendo 1 atmósfera de oxígeno y 15 °C. Para lograr la disolución de oxígeno en el agua se deben superar algunos obstáculos. Se listan algunos mecanismos para hacerlo:

- Enriquecer de aire oxigenado el agua aumenta las posibilidades de disolución de este.
- Un líquido y un gas, en contacto, se separan por una interface particular de la naturaleza, que se opone al paso de los constituyentes de uno al otro. Al momento de realizar una agitación del gas y/o el líquido, se aumenta grandemente la disolución del mismo.
- Cuanto menos tiempo se tiene en contacto el agua con el aire, menos se oxigena el agua, como consecuencia, a mayor tiempo de permanencia de la fase gaseosa (burbujas) en el agua, mayor será la disolución.
- Para un volumen de agua, mientras mayor sea la interface líquido-gaseosa, mayor oxígeno disuelto habrá.

2.4.1. Aireadores mecánicos

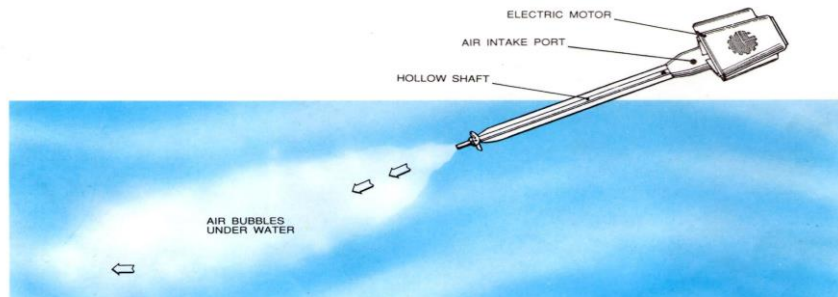
Consiste en utilizar la energía mecánica provocando la ruptura de agua en gotas. El aumento de la transferencia del oxígeno se logra incrementando el área de contacto de aire-agua, pudiendo clasificar está en dos:

- Eje vertical, se logra exponiendo las gotas del agua hacia la atmósfera, gracias a la turbulencia del agua y el arrastre del aire de contacto superficial.
- Eje horizontal, su diferencia es por el movimiento que genera una turbulencia en la superficie, el cual arrastra el aire debido al bombeo que se realiza en forma horizontal.

2.4.1.1. Aireadores difusores

Consisten en un motor eléctrico que cuenta con un eje que, al rotar mediante una hélice y un difusor que está localizado al final del mismo, y sumergido en el agua, crea un movimiento de aire y agua, el cual airea esta y genera oxígeno disuelto.

Figura 12. **Aireador difusor**



Fuente: *Blowtac. ¿Cómo funciona el aireador?* https://www.blowtac.com.tw/Templates/pic/Surface%20Jet%20Aerator_how%20to%20work_BLOWTAC_SUNMINES.jpg. Consulta: 10 de diciembre de 2016.

2.4.1.2. Aireadores de paleta

Estos consisten en un eje que rota junto con una serie de paletas propulsadas por un motor eléctrico. Son bastante aparatosos, debido a los movimientos bruscos que genera el movimiento rotatorio de las paletas. No generan una gran cantidad de oxígeno disuelto en el agua y pueden generar un mayor estrés a los peces, debido al ruido que provocan.

Figura 13. **Aireador de paletas**



Fuente: *Acuicultura. Aireadores de paleta*. <http://www.aquaculture.co.il/Services/Eq19.JPG>.

Consulta: 10 de diciembre de 2016.

2.5. Oxigenadores

La aplicación de oxígeno puro se puede justificar de dos maneras: cuando la temperatura en el cuerpo de agua es elevada y la concentración de oxígeno que se desea mantener está próxima o en saturación, y cuando el rendimiento de los aireadores mecánicos tiende a ser cero. Existen tres fuentes de oxígeno puro que pueden ser utilizadas en el estanque:

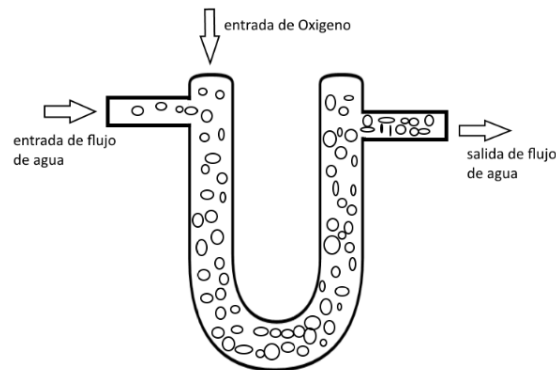
- Oxígeno gaseoso comprimido: está confinado en cilindros de metal, los cuales tienden a ser de un volumen de 3 a 7 metros cúbicos. El inconveniente que presentan es su costo elevado y su utilización de espacio.
- Oxígeno líquido: tiene una pureza de aproximadamente un 99 %. Es absorbido rápidamente por los organismos y se encarga de dar un

equilibrio alto al cuerpo; a diferencia del oxígeno comprimido, es de costo menor pero se requiere una cantidad más grande para su utilización.

2.5.1. Oxigenador de tubo en U

Consta de un tubo en forma de U, en el cual ingresa agua que viaja hacia abajo por uno de sus extremos y hacia arriba, y luego hacia afuera por el otro extremo. Se le inyecta una cantidad de aire al agua mediante un difusor, inyectando una gran cantidad de burbujas de oxígeno. Este proceso genera más rápidamente la disolución de oxígeno disuelto en el agua.

Figura 14. Oxigenador de tubo en U



Fuente: elaboracion propia.

Figura 15. **Oxigenador de tubo en U**

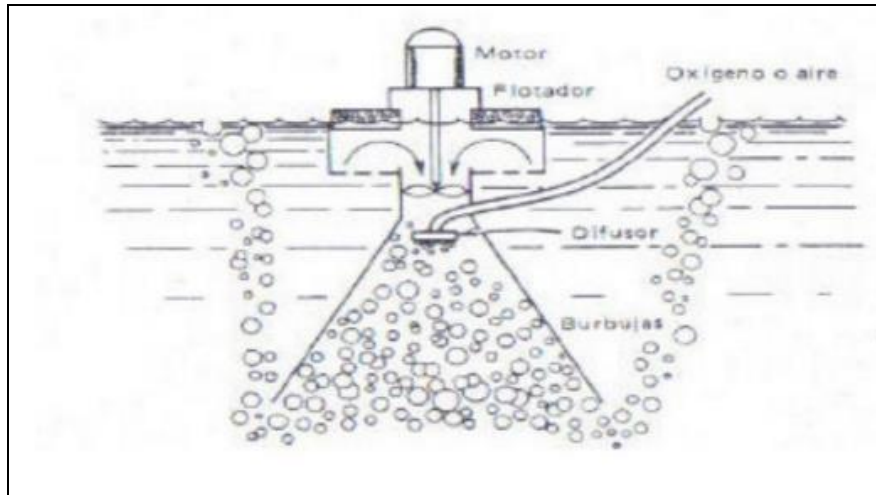


Fuente: Direct Industry. *Bomba Tsurumi*. http://img.directindustry.es/images_di/photo-m2/30418-7362613.jpg. Consulta: 10 de diciembre de 2016.

2.5.2. Oxigenador de cono

Consiste en un cono invertido que se encuentra sumergido en el agua, el cual, debido a un motor eléctrico que gira en su centro, bombea agua hacia abajo. Se le inyecta aire mediante un difusor bajo el aspa que empuja el agua, con el fin de realizar ruptura de las gotas de agua y generando una cantidad grande de oxígeno disuelto.

Figura 16. **Esquema de oxigenador de cono**



Fuente: Serquimsa. *Aireación*. <http://www.serquimsa.com/wp-content/uploads/2013/02/imagen-3.png>. Consulta: 10 de diciembre de 2016.

Figura 17. **Oxigenador de cono para estanques**



Fuente: Tybsa. *Aireadores de alta velocidad flujo ascendente*. <http://tybsa.com/wp-content/uploads/2014/01/Aireador-flotante-APF.jpg>. Consulta: 10 de diciembre de 2016.

Los oxigenadores tienen una ventaja más grande sobre los aireadores, debido a que el impacto que generan es menor. Los aireadores se encuentran sobre la superficie y trabajan principalmente sobre ella. Los oxigenadores se encuentran sumergidos y trabajan inyectando aire u oxígeno difuso al agua, logrando con esto que sea más eficiente y que genere menos estrés a los peces. Son más seguros para las especies que se encuentran en el estanque, dado que la recirculación del agua es dentro del mismo espacio, y cuentan con medidas de seguridad en sus accesos de agua, lo cual no permite que el pez ingrese a las aspas de los motores.

3. COMPONENTES ELECTRÓNICOS

La electrónica, a lo largo de la vida, ha proporcionado ventajas en diversas situaciones, ofreciendo funciones que suplen las necesidades cotidianas, pues conforme avanza la tecnología cada vez se necesita estar más informados. El oxigenador de agua programable da la ventaja de tener la información instantánea de la situación que se presenta en el estanque que se esté utilizando, quitando de ello el factor humano que pueda afectar las mediciones y la información recopilada.

Para establecer un diseño de oxigenador de agua programable se deben evaluar los componentes necesarios para poder optimizar el sistema. Se seleccionan materiales que sean resistentes y tengan una tasa de fallos durante su vida útil de 0. Para ello se ha elegido la utilización de un sistema embebido, el cual por su diseño permite realizar varias funciones dedicadas, destinando un trabajo más eficiente de los sensores que se utilizarán. Se expondrán diversos componentes electrónicos a utilizar en el diseño del oxigenador de agua programable para estanques. Debido al costo y utilización, no exceden los recursos necesarios para este diseño y reducen el costo de aplicación significativamente.

3.1. Arduino

Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos, que utilizan código abierto, basada en software y hardware flexibles a las necesidades, lo cual facilita la utilización del sistema embebido. Las placas de Arduino son capaces de leer entradas y convertirlas luego de su análisis en una salida o acción. El

microcontrolador incrustado en la placa Arduino se programa utilizando el lenguaje de programación Arduino y el entorno de desarrollador del mismo nombre. Puede decirse que es un tablero de microcontrolador que, mediante un envío conjunto de instrucciones, puede ayudar en el control de actividades.

Arduino nació en el Instituto de Diseño Interactivo Ivrea, de Italia, convirtiéndose en una herramienta fácil de utilizar para crear prototipos rápidos. Tan pronto llegó a la amplia comunidad de electrónicos, esta placa fue adaptándose a las nuevas necesidades y retos.

Figura 18. **Logotipo Arduino**



Fuente: *Arduino Store. Logotipo Arduino.*

https://store.arduino.cc/includes/images/stickers_logo_text.png. Consulta: 4 de enero de 2017.

Todas las placas Arduino son completamente manejadas por código abierto, permitiendo a los usuarios realizar creaciones independientes adaptadas a sus necesidades particulares.

3.1.1. ¿Por qué utilizar Arduino?

Existen muchos dispositivos embebidos en el campo de la electrónica y otras plataformas microcontroladoras para computación física, Parallax Basic Stamp, Netmedia's BX-24, Phidgets, MIT's Handyboard, Raspberry Pi y muchas otras ofertas de funcionalidad similar. Todas toman los detalles desordenados de la programación y los envuelven en un paquete fácil de controlar por el usuario.

Por su sencillez y accesibilidad para el usuario, Arduino ha sido utilizado en varios proyectos y muchos de los actuales se basan en una placa Arduino, tales como los drones, algunos microondas, cabinas de fotos automáticas, disparadores de fotografías de alta velocidad, etc. Arduino simplifica el proceso de trabajo de los microcontroladores y ofrece ventajas puntuales sobre estos.

- Barato: una placa Arduino es relativamente barata si se compara con otros sistemas tales como la Raspberry Pi, que tiene un costo aproximado de Q. 400,00; Phidgets, con un costo aproximado de Q. 560,00, y Arduino mega, el más potente de la gama de placas, que tiene un costo de Q. 200,00, reduciendo el costo de utilización.
- Entorno de programación simple: el software de Arduino es muy fácil de utilizar, pero lo suficientemente dúctil para realizar trabajos exigentes. Se basa en un entorno de programación de procesamiento, el cual es más entendible por cualquier usuario.
- Código abierto: es una herramienta de software con código abierto, con extensiones disponibles para todos los usuarios de Arduino. Se basa en lenguaje de programación C++, esto da una ventaja de programación debido a la compatibilidad de código entre ambos motores de programación.

Arduino mega 2560

La placa Arduino mega 2560 está basada en un procesador Atmega 2560 y cuenta con 54 pines digitales. Estos pueden ser utilizados como entradas o salidas, dependiendo de la programación. De estos pines se pueden utilizar 15 como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 puertos UART (*Universal Asynchronous Reciever Transmitter*), que cuentan con un oscilador de 16 Mhz, una conexión por un bus serial universal, un conector de alimentación, un encabezado de pines de programación ICSP y un botón de reinicio.

Figura 19. **Placa Arduino Mega 2560**



Fuente: *Patagonia TEC*. *Arduino Mega 2560*. <http://saber.patagoniatec.com/wp-content/uploads/2014/06/atmega328p1.jpg>. Consulta: 25 de febrero de 2017.

Tabla III. **Especificaciones de Arduino Mega 2560**

Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límites)	6-20V
E / S digitales prendedores	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente continua para Pin I / O	20 mA
Corriente CC para Pin 3.3V	50 mA
Memoria <i>flash</i>	256 KB de los cuales 8 KB utilizado por el gestor de arranque
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidad de reloj	16 MHz

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Alimentación

El Arduino Mega 2560 es alimentado a través de una conexión USB o también por una alimentación externa, mediante un Jack de 2,1 mm de centro-positivo en la clavija de alimentación de la placa. La tarjeta Arduino puede funcionar con un suministro de voltaje de entre 6 y 20 voltios, si se suministra con menos de 7 voltios el regulador de voltaje puede ser inestable y, si se utilizan más de 12, el regulador puede recalentarse y dañar la placa.

Figura 20. **Entradas de alimentación Arduino**

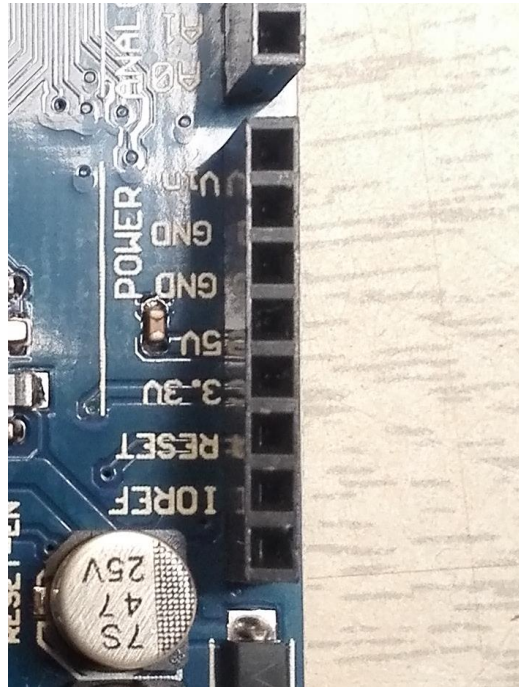


Fuente: elaboración propia. Placa Arduino Mega 2560.

3.1.3. Pines de alimentación

- VIN: cuando no se tiene una conexión de USB para alimentar la placa ni tampoco un conector de 2,1mm se puede alimentar por esta vía con un voltaje de 5 Voltios.
- 5V: la fuente de alimentación regulada se utiliza para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esto puede venir de VIN a través de un regulador a bordo, o ser suministrado por el USB u otra fuente de 5V regulada.
- 3V3: un suministro de 3,3 voltios generado por el chip FTDI de a bordo. El consumo de corriente máximo es de 50 mA.
- GND: son las patillas montadas en la placa que proporcionan el PIN común de tierra física.

Figura 21. **Pines de alimentación**



Fuente: elaboración propia. Placa Arduino Mega 2560.

3.1.4. **Pines de entrada y salida**

Cada uno de los 54 pines digitales en la Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando `pinMode ()`, `digitalWrite ()` y `digitalRead ()` funciones. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de *pull-up* (desconectada por defecto) de 20-50 kOhms. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- Pines seriales: 0 (RX) y 1 (TX); 19 (RX) y 18 (TX); 17 (RX) y 16 (TX); 15 (RX) y 14 (TX). Se utilizan para recibir y transmitir datos en serie TTL.
- Pines de interrupciones externas: Pin 2, Pin 3, Pin 18, Pin19, Pin 20 y Pin 21. Estos pines pueden ser configurados para desencadenar una

interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor.

- Pines PWM: 2 a 13 y 44 a 46. Proporcionan una salida de PWM de 8 *bits* con la función `analogWrite()`.
- Pines SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Estos pines soportan la comunicación SPI.
- I2C: 20 (SDA) y 21 (SCL). Apoyo I2C (TWI). Está diseñado como un bus maestro-esclavo.

El Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada una de las cuales proporciona 10 *bits* de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto miden de tierra a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el alfiler AREF y la función `analogReference()`.

Tabla IV. **Lista de pines Arduino Mega 2560**

Número de pin	Nombre de pin	Pin asignado
1	PG5 (OC0B)	Pin Digital 4 (PWM)
2	PE0 (RXD0/PCINT8)	Pin Digital 0 (RX0)
3	PE1 (TXD0)	Pin Digital 1 (TX0)
4	PE2 (XCK0/AIN0)	
5	PE3 (OC3A/AIN1)	Pin Digital 5 (PWM)
6	PE4 (OC3B/INT4)	Pin Digital 2 (PWM)
7	PE5 (OC3C/INT5)	Pin Digital 3 (PWM)
8	PE6 (T3/INT6)	
9	PE7 (CLK0/ICP3/INT7)	
10	VCC	VCC
11	GND	GND
12	PH0 (RXD2)	Pin Digital 17 (RX2)
13	PH1 (TXD2)	Pin Digital 16 (TX2)
14	PH2 (XCK2)	
15	PH3 (OC4A)	Pin Digital 6 (PWM)
16	PH4 (OC4B)	Pin Digital 7 (PWM)
17	PH5 (OC4C)	Pin Digital 8 (PWM)
18	PH6 (OC2B)	Pin Digital 9 (PWM)
19	PB0 (SS/PCINT0)	Pin Digital 53 (SS)
20	PB1 (SCK/PCINT1)	Pin Digital 52 (SCK)

Continuación de la tabla IV.

21	PB2 (MOSI/PCINT2)	Pin Digital 51 (MOSI)
22	PB3 (MISO/PCINT3)	Pin Digital 50 (MISO)
23	PB4 (OC2A/PCINT4)	Pin Digital 10 (PWM)
24	PB5 (OC1A/PCINT5)	Pin Digital 11 (PWM)
25	PB6 (OC1B/PCINT6)	Pin Digital 12 (PWM)
26	PB7 (OC0A/OC1C/PCINT7)	Pin Digital 13 (PWM)
27	PH7 (T4)	
28	PG3 (TOSC2)	
29	PG4 (TOSC1)	
30	RESET	RESET
31	VCC	VCC
32	GND	GND
33	XTAL2	XTAL2
34	XTAL1	XTAL1
35	PL0 (ICP4)	Pin Digital 49
36	PL1 (ICP5)	Pin Digital 48
37	PL2 (T5)	Pin Digital 47
38	PL3 (OC5A)	Pin Digital 46 (PWM)
39	PL4 (OC5B)	Pin Digital 45 (PWM)
40	PL5 (OC5C)	Pin Digital 44 (PWM)
41	PL6	Pin Digital 43
42	PL7	Pin Digital 42
43	PD0 (SCL/INT0)	Pin Digital 21 (SCL)
44	PD1 (SDA/INT1)	Pin Digital 20 (SDA)
45	PD2 (RXD1/INT2)	Pin Digital 19 (RX1)
46	PD3 (TXD1/INT3)	Pin Digital 18 (TX1)
47	PD4 (ICP1)	
48	PD5 (XCK1)	
49	PD6 (T1)	
50	PD7 (T0)	Pin Digital 38
51	PG0 (WR)	Pin Digital 41
52	PG1 (RD)	Pin Digital 40
53	PC0 (A8)	Pin Digital 37
54	PC1 (A9)	Pin Digital 36
55	PC2 (A10)	Pin Digital 35
56	PC3 (A11)	Pin Digital 34
57	PC4 (A12)	Pin Digital 33
58	PC5 (A13)	Pin Digital 32
59	PC6 (A14)	Pin Digital 31
60	PC7 (A15)	Pin Digital 30
61	VCC	VCC
62	GND	GND
63	PJ0 (RXD3/PCINT9)	Pin Digital 15 (RX3)
64	PJ1 (TXD3/PCINT10)	Pin Digital 14 (TX3)
65	PJ2 (XCK3/PCINT11)	
66	PJ3 (PCINT12)	

Continuación de la tabla IV.

67	PJ4 (PCINT13)	
68	PJ5 (PCINT14)	
69	PJ6 (PCINT 15)	
70	PG2 (ALE)	Pin Digital 39
71	PA7 (AD7)	Pin Digital 29
72	PA6 (AD6)	Pin Digital 28
73	PA5 (AD5)	Pin Digital 27
74	PA4 (AD4)	Pin Digital 26
75	PA3 (AD3)	Pin Digital 25
76	PA2 (AD2)	Pin Digital 24
77	PA1 (AD1)	Pin Digital 23
78	PA0 (AD0)	Pin Digital 22
79	PJ7	
80	VCC	VCC
81	GND	GND
82	PK7 (ADC15/PCINT23)	Analog pin 15
83	PK6 (ADC14/PCINT22)	Analog pin 14
84	PK5 (ADC13/PCINT21)	Analog pin 13
85	PK4 (ADC12/PCINT20)	Analog pin 12
86	PK3 (ADC11/PCINT19)	Analog pin 11
87	PK2 (ADC10/PCINT18)	Analog pin 10
88	PK1 (ADC9/PCINT17)	Analog pin 9
89	PK0 (ADC8/PCINT16)	Analog pin 8
90	PF7 (ADC7)	Analog pin 7
91	PF6 (ADC6)	Analog pin 6
92	PF5 (ADC5/TMS)	Analog pin 5
93	PF4 (ADC4/TMK)	Analog pin 4
94	PF3 (ADC3)	Analog pin 3
95	PF2 (ADC2)	Analog pin 2
96	PF1 (ADC1)	Analog pin 1
97	PF0 (ADC0)	Analog pin 0
98	AREF	Analog Reference
99	GND	GND
100	AVCC	VCC

Fuente: elaboración propia.

3.1.5. Comunicación

La placa Mega 2560 tiene una serie de facilidades para comunicarse con una computadora, otra placa u otros microcontroladores. El ATmega2560 proporciona cuatro UART de hardware para la comunicación en serie TTL (5V).

Reconoce la tarjeta como un puerto COM automáticamente. El software de Arduino (IDE) incluye un monitor en serie que permite enviar datos sencillos de texto desde y hacia la placa. Los LED RX y TX de la placa parpadearán cuando se transmitan datos a través de la ATmega8U2 / ATmega16U2 *chip* y conexión USB a la computadora.

3.2. Sensor de presión barométrica

El sensor BMP180 está diseñado para leer la presión atmosférica, que es la fuerza que ejerce el aire (atmósfera) sobre la superficie de la tierra. En otras palabras se debe a la columna de aire que está sobre determinada área, por esto, si se mide la presión atmosférica en puntos más altos, la presión baja debido a que hay menos cantidad de aire por encima. La presión atmosférica también varía con el clima, principalmente con la temperatura, pues esta hace cambiar la densidad del aire, lo cual se ve reflejado en un cambio en el peso y por consiguiente en un cambio de presión.

Entonces, la presión atmosférica varía con la temperatura y la altitud, estas dos variables son las más representativas para el cambio de presión, por lo que se puede discriminar la humedad y viento que también influyen en la presión. Lo que mide el sensor BMP180 es la presión absoluta (barométrica) y la temperatura. Al censar la temperatura es posible compensar la influencia de

esta en la presión, y con un valor más exacto de la presión es posible calcular la altitud.

La electrónica de baja tensión y bajo voltaje de la BMP180 está optimizada para su uso en teléfonos móviles, PDAs, dispositivos de navegación GPS y equipos para exteriores. Con un ruido de baja altitud de solo 0,25 m y con un tiempo de conversión rápido, el BMP180 ofrece un rendimiento superior. La interfaz I2C permite una fácil integración del sistema con un microcontrolador. El BMP180 está basado en tecnología piezo-resistiva para robustez EMC, alta precisión y linealidad, así como estabilidad a largo plazo.

Figura 22. **Sensor barométrico BMP180**



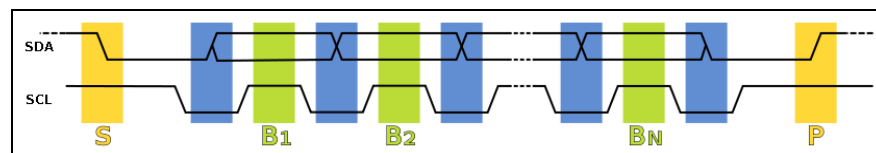
Fuente: elaboración propia.

El BMP180 consta de un sensor piezo-resistivo, un convertidor analógico a digital y una unidad de control con EEPROM y una interfaz serie I2C. El BMP180 ofrece el valor no compensado de la presión y la temperatura. La

EEPROM ha almacenado 176 *bits* de datos de calibración individuales. Esto se utiliza para compensar el desplazamiento, la dependencia de la temperatura y otros parámetros del sensor.

El BMP180 de Bosch es un sensor de presión barométrica que cuenta con un rango de medida de 300 a 1100 hPa y, al mismo tiempo, proporciona una medición de temperatura de entre 0 y 65 grados centígrados. Cuenta con una interfaz digital I2C, esto significa que puede obtener datos digitales más estables y con menos susceptibilidad al ruido. El I2C es una interfaz síncrona de dos hilos, SDA (datos seriales) que transmite datos de forma serial, SCL (reloj serial) que transmite una señal de reloj, el cual se encarga de llevar el seguimiento de los datos.

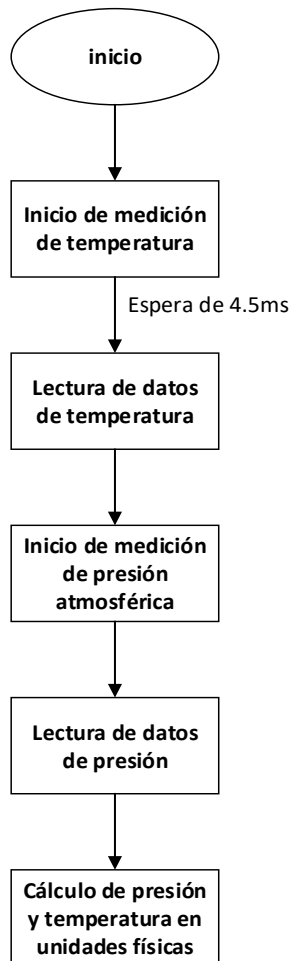
Figura 23. **Flancos de SDA y SCL de BMP180**



Fuente: Sparkfun. *Sensor BMP180*. https://www.sparkfun.com/tutorial/Barometric/I2C_data_transfer.png. Consulta: 26 de marzo de 2017.

El microcontrolador envía una secuencia de inicio para iniciar una medición de presión o temperatura. Después del tiempo de conversión de los datos de presión y datos de temperatura, el resultado puede ser leído por la interfaz I2C. La velocidad de muestreo puede manejar hasta 128 muestras por segundo para una medición dinámica.

Figura 24. **Proceso de medición de BMP180**



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Word.

La tarjeta tiene unas dimensiones de 0,65 x 0,65 pulgadas, cuenta con cuatro componentes: el sensor y 3 resistencias *pull up*, y 4 agujeros, los cuales no cuentan con soldaduras, estos son:

Tabla V. **Pines BMP180**

PIN BMP180	FUNCIÓN
SDA	Pin de entrada-salida de datos serial
SCL	Pin de entrada-salida de reloj serial
TIERRA	Polo común
VCC	Voltaje 1,8V – 3,6V

Fuente: elaboración propia.

3.3. Sensor de temperatura sumergible

Un sensor de temperatura es un instrumento capaz de realizar una lectura precisa de una temperatura en un ambiente determinado. Existen técnicas distintas para lograrlo. El sensor de temperatura DS18B20 es un dispositivo que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales: Vcc, GND y el pin Data. Este sensor utiliza comunicación OneWire, este protocolo permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable, a diferencia de la mayoría de los protocolos que requieren dos cables.

3.3.1. Características del DS18B20

El sensor de temperatura DS18B20 encapsulado en acero inoxidable es apto para realizar mediciones en lugares húmedos, proporciona una medición en grados Celsius, de 9 a 12 *bits* de resolución, y cuenta con una alarma que se dispara en los puntos superiores e inferiores, los cuales se pueden programar dependiendo de la necesidad del usuario.

- Sensor digital
- Resolución de 9 y 12 *bits*
- Rango de operación de -55 a 125 grados centígrados

- Precisión de $\pm 0,5$ grados de los -10 a los $+85$ grados centígrados
- No requiere componentes externos
- Protocolo OneWire

Figura 25. **Sensor DS18B20**



Fuente: Sensor *DS18B20*. https://http2.mlstatic.com/D_Q_NP_403405-MLA20862404947_082016-H.jpg. Consulta: abril de 2017.

3.3.2. Descripción de PIN DS18B20

Tabla VI. **Descripción de pines del sensor de temperatura DS18D20**

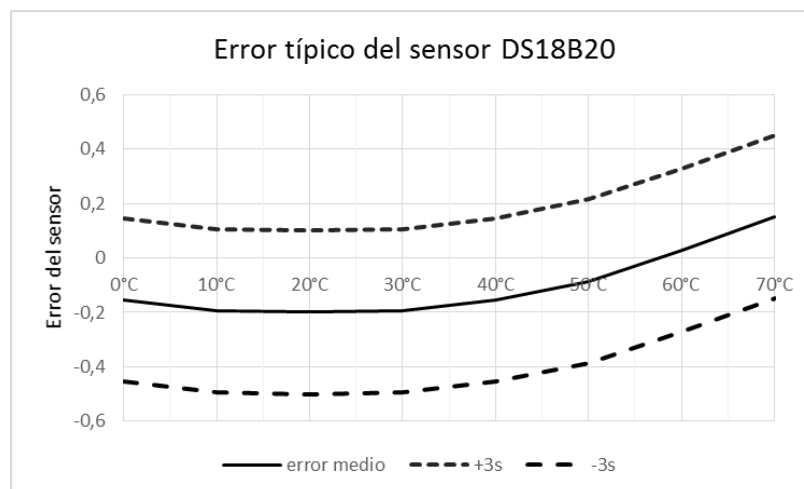
PIN	NOMBRE	FUNCIÓN
3	VDD	Voltaje de alimentación
2	DQ	Entrada-salida de datos, interfaz <i>one wire</i>
1	GND	Tierra física del circuito

Fuente: elaboración propia.

Los límites del voltaje de alimentación VDD están entre el rango +3,0V y +5,5V. El DS18D20 tiene la funcionalidad denominada parásita, lo cual quiere decir que no requiere tener una fuente de alimentación en el pin VDD. Se realiza un robo de energía del bus de OneWire, a través del pin DQ cuando el bus se encuentra en estado alto, y se requiere conectar el pin VDD hacia tierra física para que se realice la alimentación parásita.

El DS18B20 también puede ser alimentado de la forma convencional, utilizando una fuente de alimentación externa en el pin VDD. La ventaja de la utilización de este método es que no requiere ningún circuito adicional para mantener la EEPROM funcionando mientras se realiza la conversión de temperaturas, tal como sería necesario al utilizar la configuración de alimentación parásita, pues debido al tiempo de conversión se requeriría de un flanco largo positivo para poder mantener el funcionamiento de las mediciones.

Figura 26. **Error típico del sensor DS18B20**



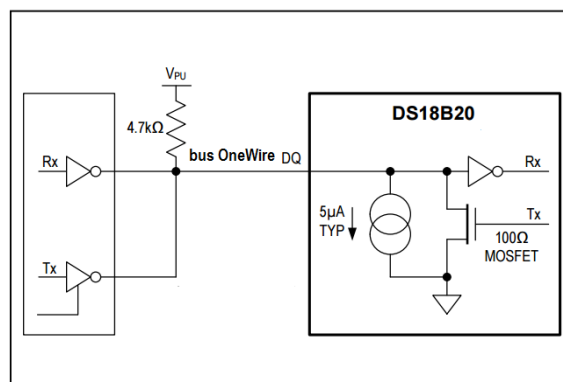
Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Excel.

3.3.3. Sistema de bus Onewire

El bus OneWire tiene por defecto una sola línea de salida o entrada de datos. Los dispositivos conectados en este, ya sea maestro o esclavo, se conectan a la línea de datos a través de un puerto de drenaje de tres estados, esto permite que cada dispositivo conectado libere la línea de datos cuando deja de transmitir datos de información, de este modo se garantiza que la línea esté disponible para ser usada por otro dispositivo. Cuando solo hay un dispositivo esclavo conectado al bus OneWire se denomina sistema de “caída simple”, de igual manera puede ser catalogado “*multidrop*” si hay diversos dispositivos esclavos conectados al bus.

En el DS18B20 el pin DQ es drenaje abierto con un circuito interno, como se muestra en la figura 26. El bus OneWire requiere una resistencia de levante o “*pull up*” de $4,5k\Omega$, lo cual indica que el estado inactivo del bus es un flanco alto. Si se desea suspender la transacción de data, el bus debe quedar en estado inactivo.

Figura 27. Diagrama OneWire de sensor DS18B20



Fuente: Maxim Integrated Products. *Diagrama interno OneWire sensor DS18B20.*

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>. Consulta: 8 de mayo de 2017.

3.4. Módulo *Bluetooth*

Los módulos *Bluetooth* son módulos populares para aplicaciones con microcontroladores. Estos dispositivos son bastante económicos y vienen en un encapsulado que permite conectarlos fácilmente sin necesidad de realizar soldaduras o cableados muy difíciles.

3.4.1. El *Bluetooth*

Bluetooth es una especificación tecnológica para redes inalámbricas, que permite la transmisión de datos entre distintos dispositivos a una frecuencia de 2,4 Ghz. Es la denominación comercial del estándar de comunicación inalámbrica IEEE 802.15.1. La primera empresa en realizar investigaciones sobre esta tecnología fue Ericsson, y se encargó de liderar un grupo de empresas que se sumaron a la creación del estándar.

Figura 28. Logotipo de *Bluetooth*



Fuente: *Las redes Bluetooth*. http://www.prometec.net/wp-content/uploads/2014/11/bluetooth_logo.jpg. Consultado: 8 de mayo de 2017.

Existen 3 clases de *Bluetooth*:

- Clase 1: tiene un alcance aproximado de 100 metros

- Clase 2: tiene un alcance aproximado de 10 metros
- Clase 3: tiene un alcance aproximado de 1 metro

El *Bluetooth* puede actuar como maestro o como esclavo. La diferencia es que un *Bluetooth* esclavo solo puede conectarse a un dispositivo maestro, en cambio el *Bluetooth* maestro puede conectarse a diversos dispositivos esclavos, y recibir y enviar información a ellos; el máximo de conexión es de 7 dispositivos esclavos. Todos los dispositivos *Bluetooth* tienen una dirección específica y única de 48 *bits*, además de un nombre de dispositivo que sirve para darle una identificación más entendible.

3.4.2. Módulo Bluetooth HC-06

El módulo *Bluetooth* HC-06 ofrece una relación de precio y características muy accesibles. Trabaja como esclavo, esto indica que tiene la funcionalidad de recibir conexión desde un ordenador, *Tablet* o móvil, pero es incapaz de generar la primera conexión hacia otro dispositivo *Bluetooth*, esto permite recibir datos desde el dispositivo siempre y cuando sea requerido desde el dispositivo en el cual quiere ser mostrada la información. Físicamente, el módulo HC-06 cuenta con 6 pines de conexión:

Tabla VII. Pines de módulo *Bluetooth* HC-06

Nombre de pin	Descripción
Vcc	Alimentación entre 3,6-6 V
GND	Masa de tierra
TXD	Transmisión de datos
RXD	Recepción de datos
KEY	Indicar la entrada al modo de configuración
STATE	Conexión de led de estado

Fuente: elaboración propia.

3.4.2.1. Comando AT

Los comandos AT son un tipo de comandos que sirven para configurar el módulo *Bluetooth* a través de un microcontrolador, un ordenador o con cualquier dispositivo que posea una comunicación serie (Tx/Rx). Son unas instrucciones que permiten cambiar los baudios del módulo, el PIN, el nombre, etc. Para usar los comandos AT el módulo *Bluetooth* no debe estar vinculado a ningún dispositivo (led rojo del módulo parpadeando). Según las especificaciones del módulo, el tiempo que se tiene que respetar entre el envío de un comando AT y otro tiene que ser de 1 segundo. Si se envía un comando AT y, en menos de un segundo, se envía otro, el módulo no devuelve respuesta.

Tabla VIII. Comandos de configuración AT de módulo HC-06

Comando AT	Descripción	Respuesta
AT	Test de comunicación	OK
AT+VERSION	Retorna la versión del módulo	OKlinvor Vx.x
AT+BAUDx	Configura la velocidad de transmisión del módulo según el valor de "x" 1 = 1200 bps 2 = 2400 bps 3 = 4800 bps 4 = 9600 bps (por defecto) 5 = 19200 bps 6 = 38400 bps 7 = 57600 bps 8 = 115200 bps 9 = 230400 bps A = 460800 bps B = 921600 bps C = 1382400 bps	AT+BAUD4. Configura la velocidad a 9600 <i>baud rate</i> . Responde con OK9600.
AT+NAMEx	Configura el nombre con el que se visualizará el módulo; soporta hasta 20 caracteres.	AT+NAMEDIYMakers Configura el nombre del módulo a DIYMakers. Responde con OKsetname.
AT+PINxxx	Configura el Pin de acceso al módulo (<i>password</i>). 1234 por defecto.	AT+PIN1122. Configura el Pin a 1122. Responde con OKsetPIN

Fuente: *Hc-06 Bluetooth Module Slave*. <http://cursoarduinomega.blogspot.com/2015/09/hc-06-bluetooth-module-slave-with.html>. Consulta: 21 de mayo de 2017.

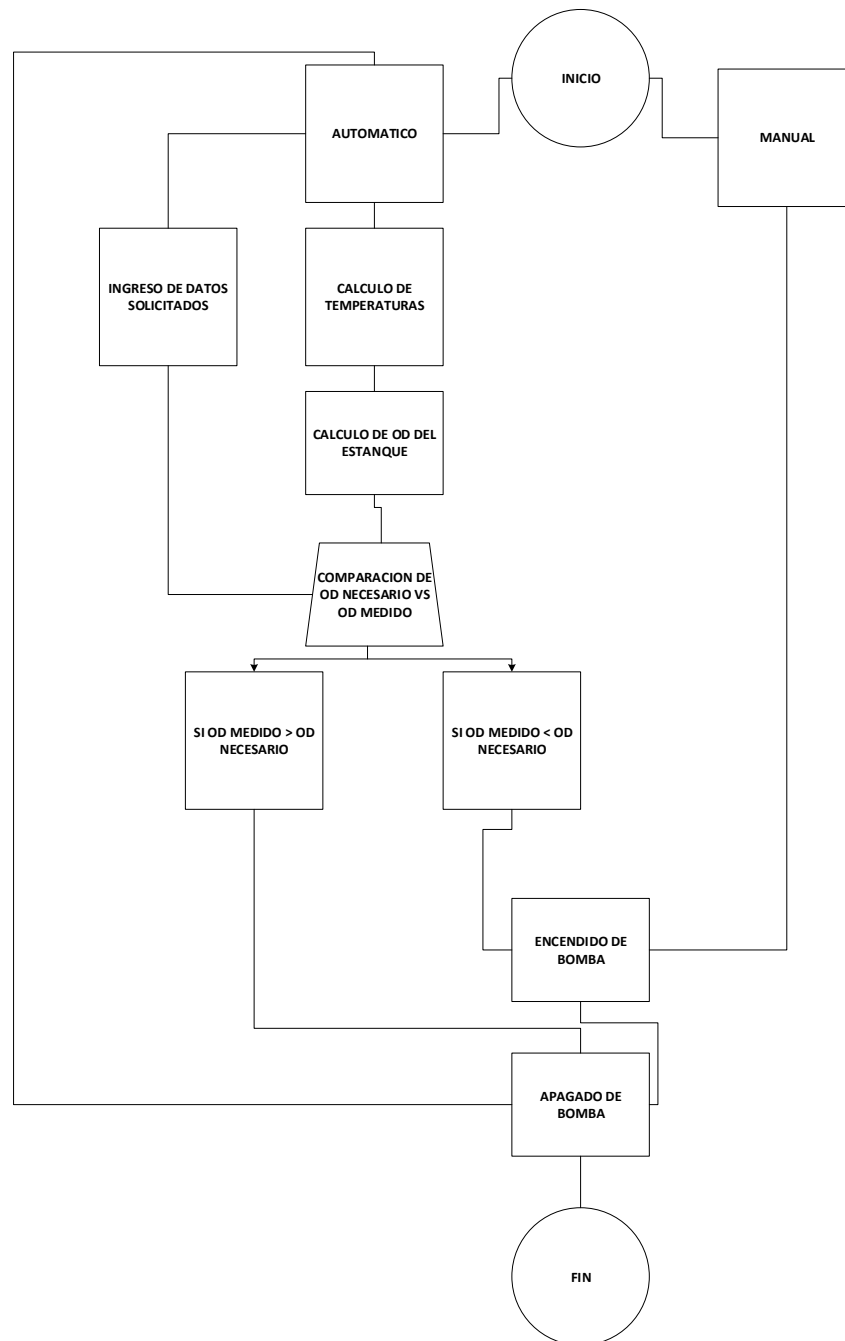
Cuando el modo AT está desconectado, el led indicador está parpadeando, esto debido que no se ha establecido una conexión con el dispositivo maestro. Realiza el cambio a modo conectado cuando el led permanece encendido y se establece la paridad con el otro dispositivo. En el modo conectado no se pueden interpretar los comandos AT.

4. PROPUESTA DE OXIGENADOR DE AGUA PROGRAMABLE PARA ESTANQUES

El oxigenador de agua programable para estanques es un dispositivo electrónico que se encargará de llevar el monitoreo del oxígeno disuelto en el agua y, con esta información, generar una acción, en este caso en particular el encendido de un aireador de agua tipo U. La medición se hace mediante una aproximación matemática de la media de temperatura en el agua y sobre el espejo de esta; para ello se utilizarán dos sensores de temperatura, uno situado al exterior del estanque midiendo la temperatura ambiental sobre el espejo de agua, el cual también se encuentra aproximadamente a 1 atmósfera, y el segundo sensor situado en la parte más profunda del estanque, esto debido a que la sensación térmica sobre la superficie puede variar respecto de la sensación térmica en el fondo del estanque. Para una medida más acertada del oxígeno disuelto en el estanque se tomará la media geométrica de la temperatura medida en ambos sensores.

La ecuación que se utilizará para realizar el cálculo del O_2 dentro del estanque será $O_2 = 0,0039 \bar{T}^2 - 0,3395 \bar{T} + 14,316$, donde $\bar{T}$ es la media aritmética de la temperatura, la cual hace referencia al oxígeno por litro dentro del estanque. La cantidad de oxígeno disuelto será la adición de los litros de agua contenidos en el estanque por la cantidad de oxígeno en función de la temperatura que sea calculada. La acción dependerá de las condiciones actuales del estanque, versus las condiciones requeridas por el usuario. Para este diseño específico puede tomarse como referencia el siguiente diagrama de flujo:

Figura 29. Diagrama de flujo de oxigenador de agua programable



Fuente: elaboración propia, utilizando Microsoft Visual Studio.

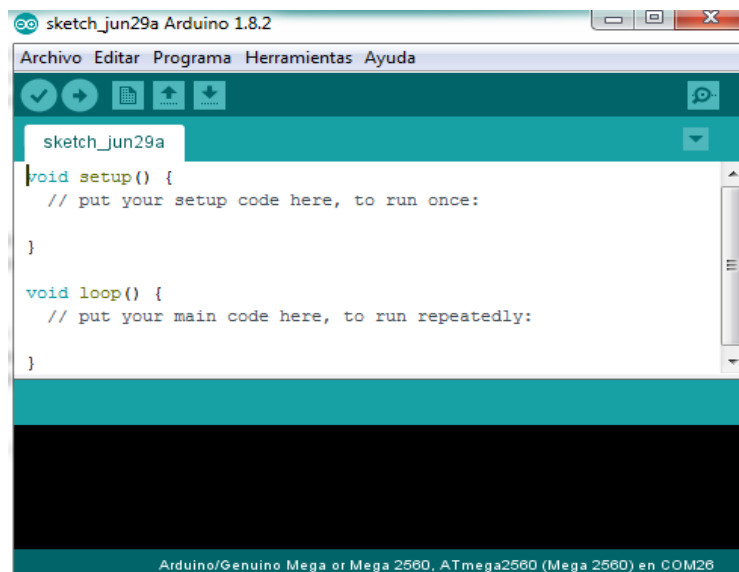
4.1. Lógica del sistema de sistema

Como se observa en el diagrama de flujo del diseño de oxigenador programable para estanques, el sistema se basa en mediciones del ambiente tanto interno del agua como superficial o exterior a ella. Para ello se requiere la utilización de sensores posicionados estratégicamente dentro y fuera, específicamente sobre el espejo de agua del estanque, esto con el fin de tener una medición de la temperatura y la presión atmosférica superficial.

4.2. Programación de Arduino

Se basa en el lenguaje C++, su nombre es *Wiring*, es necesario contar con el IDE de Arduino apropiado con la placa a utilizar, en este caso un Arduino mega 2560.

Figura 30. **Sketch de programación Arduino**



Fuente: elaboración propia.

El programa lleva el nombre de Control OD; para referirse al diseño de oxigenador de agua programable para estanques, se refiere al programa como tal.

4.2.1. Medición de sensor de temperatura interno

La temperatura del agua no es igual a la temperatura ambiente, debido a ello se realiza una medición interna de la temperatura del agua en la parte más profunda del estanque. Para ello se utiliza el sensor de temperatura sumergible DS18B20, que se encarga de la toma de datos dentro del estanque. Esto a fin de realizar la comparativa de la temperatura interna del ecosistema acuático contra la temperatura del ecosistema ambiental, lo que implica un cambio de temperatura.

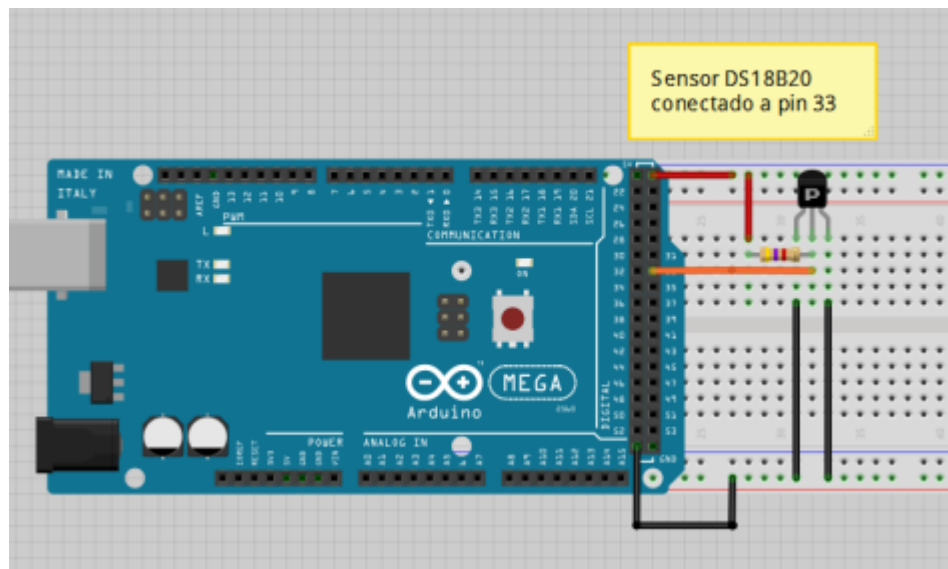
Figura 31. **Sensor de temperatura interno**



Fuente: elaboración propia.

Para el manejo del sensor DS18B20 se utiliza la librería “OneWire.h”, la cual es la encargada de levantar el protocolo OneWire y realizar las lecturas seriales que son enviadas desde el sensor sumergido hacia el Pin 33 de la placa Arduino Mega. Con la librería “DallasTemperature.h” se realizará el tratado de los datos enviados al bus One Wire a una velocidad de 9600 bits/seg, la cual dará como respuesta la temperatura interior del estanque en grados Celsius, bajo la instancia “sensors.getTempCByIndex(0)”, y en grados Fahrenheit con “sensors.getTempFByIndex(0)”. El cable rojo del sensor DS18B20 se conecta a la salida de 5 voltios del Arduino mega, el cual tiene la función de alimentación directa; se requiere una resistencia de 4,7kΩ, que servirá para levantar el Pin de datos.

Figura 32. **Conexión física DS18B20**



Fuente: *Arduino y sensores de temperatura*. <https://tallerarduino.com/2012/05/04/arduino-y-sensores-de-temperatura-ds18b20/>. Consulta: 29 de julio de 2017.

Dado que la temperatura se toma en grados Celsius, se utilizará la instancia "sensores.getTempCByIndex(0)" para mostrar los datos de la temperatura interior.

4.2.2. Sensor de presión barométrica y temperatura superficial

El sensor de presión barométrica y temperatura es el encargado de realizar la comparación de la altitud en la cual se encuentra el estanque, esto con el fin de validar que la presión atmosférica sensible en el espejo de agua se asemeje a una atmósfera. La temperatura exterior en el espejo de agua varía con respecto a la temperatura interna del estanque medido, esto debido a que la sensibilidad térmica del agua es diferente. Se requiere aproximadamente 12 horas para que el estanque regule la temperatura del agua a la temperatura ambiente, pero dado que la temperatura ambiente no es estable, nunca se podrá igualar las mismas.

Para realizar las mediciones se requiere instalar la librería de ADAFRUIT "SFE_BMP180.h", la cual será la encargada de interpretar los datos que provienen del Pin SDA del sensor, y entran al Pin 20 del Arduino Mega. La librería cuenta con estados de recepción de datos, los cuales toman la data serial desde el sensor, con una estructura definida:

- Se inicia la lectura de temperatura superficial del agua, "pressure.startTemperature()".
- Si el *estatus* no es igual a 0, se lee la temperatura inicial.
- Se declara una variable T de tipo doble, que es la encargada de guardar el dato de temperatura medida por el sensor bmp180.
- Se inicia la lectura de presión atmosférica "pressure.startPressure(3)".

- Si el estado no es igual a 0, se lee la presión atmosférica inicial sobre el sensor bmp180.
- Se declara una variable P de tipo doble, que es la encargada de guardar el dato de presión atmosférica medida por el sensor bmp180.
- Si el estado no es 0, y ya se realizó la medición de las variables T y P, inicia la presión medida e indica la altitud a la que se encuentra y se guarda en una variable p0.
- La altitud por defecto que se le ha puesto al programa es la de la ciudad de Guatemala: 1494 metros sobre el nivel del mar.

Figura 33. **Programación de medición de sensor bmp180**

```
void Medir() {
    status = pressure.startTemperature();
    if (status != 0) {
        delay(status);
        status = pressure.getTemperature(T);
        if (status != 0) {
            status = pressure.startPressure(3);
            if (status != 0) {
                delay(status);
                status = pressure.getPressure(P, T);
                if (status != 0) {
                    p0 = pressure.sealevel(P, P_Altitud);
                }
            }
        }
    }
}
```

Fuente: elaboración Propia, empleando Sketch Arduino.

Los datos medidos en la variable T se sumarán con los datos medidos en la instancia “sensores.getTempCByIndex(0)”, y se dividen en 2. Para guardar esta media aritmética se declara una variable “pmt” de tipo doble, que será la

encargada de realizar el promedio de temperatura desde la parte superior del estanque hasta la parte inferior.

4.2.3. Cálculo de oxígeno disuelto desde la temperatura media

La temperatura media se ha guardado en la variable “pmt”. El cálculo del OD en el agua se basa en la ecuación generada por la gráfica de OD medido a una atmósfera a diferentes temperaturas; este está dentro del “void medir()”, $0,0039(pmt)^2 - 0,3395(pmt) + 14,316$. Esta ecuación se guarda en la variable “OD” de tipo doble.

Figura 34. Programación de cálculo de OD

```
sensores.requestTemperatures(); //Prepara el sensor para la lectura
pmt = (sensores.getTempCByIndex(0)+T)/2; //calculo de la temperatura media.
OD = (0.0039*pmt*pmt) - (0.3395*pmt) + (14.316);
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Arduino.

4.3. Recepción y envío de datos

Dado que se trata de un oxigenador programable, tiene la opción de poder variar parámetros y generar una acción.

4.3.1. Envío de datos

Todos los datos calculados deben ser interpretados por el usuario, esto se realiza mediante el envío de datos seriales hacia un terminal Android. El módulo

Bluetooth hc-06 será el encargado, a través del Pin 18 serial tx1, de enviar una cadena de datos delimitados con símbolo punto y coma que se guardan en una variable de tipo cadena DatoTx, esto con el fin de poder segmentar la data. Se realiza el envío de datos de temperatura dentro del estanque, temperatura superficial, presión atmosférica y oxígeno disuelto calculado.

Figura 35. **Programación de envío de datos**

```
void EnviarBT(){  
  DatoTx = "d"; DatoTx += "|"; DatoTx += T; DatoTx += "|"; DatoTx +=  
  sensores.getTempCByIndex(0); DatoTx += "|"; DatoTx += p0; DatoTx +=  
  "|"; DatoTx += OD;  
  Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos  
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Arduino.

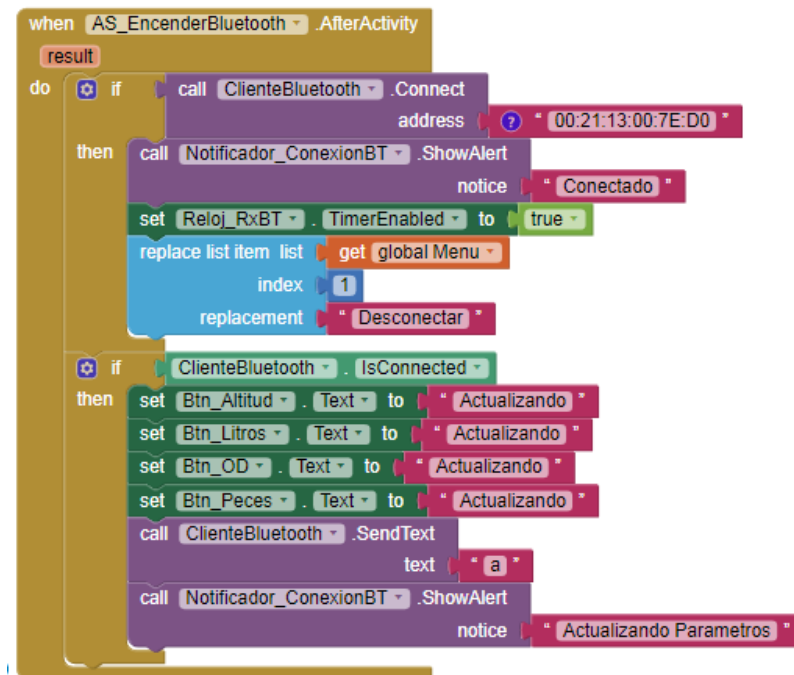
4.3.2. Recepción de datos en Android

La cadena de datos enviada mediante *Bluetooth* es recibida mediante una aplicación Android llamada “Control OD”, la cual recibe la cadena de datos enviada desde el Arduino y contiene información del estanque. La programación es mediante bloques, los cuales se encargan de realizar funciones especificadas por el usuario programador o por los datos generados por el Arduino. Al recibir la cadena de caracteres enviados por el Arduino precedidos por un punto y coma, la aplicación “Control OD” actualiza los parámetros que el usuario puede observar. Los datos que se reciben y se actualizan cada segundo son:

- Temperatura externa del estanque
- Temperatura interna del estanque
- La presión atmosférica en el espejo de agua del estanque

- Oxígeno disuelto medido en el estanque

Figura 36. **Bloque de recepción de datos mediante *Bluetooth***



Fuente: APP Inventor. Control OD. Aplicación propia.

Los datos se actualizan en pantalla cada segundo, esto da la opción de tener información casi en tiempo real del estado en el que se encuentra el ecosistema acuático del estanque.

4.3.3. Actualización de datos del sistema

La aplicación “Control OD” tiene la opción de actualizar datos del estanque, cantidad de litros usados, cantidad de oxígeno disuelto mínimo requerido, altitud de referencia y número de peces que se encuentran dentro del

estanque, con el fin de realizar una comparación del estado actual del misco contra el estado requerido por el usuario.

Se actualizan los datos en la aplicación que por defecto traen valores de 1 y son enviados hacia el Arduino mediante el *Bluetooth* del celular de forma serial, delimitado todo mediante el carácter "|". El Arduino interpreta los datos y realiza una comparación contra los datos medidos en el estanque y decide si se requiere o no el encendido de la bomba aireadora.

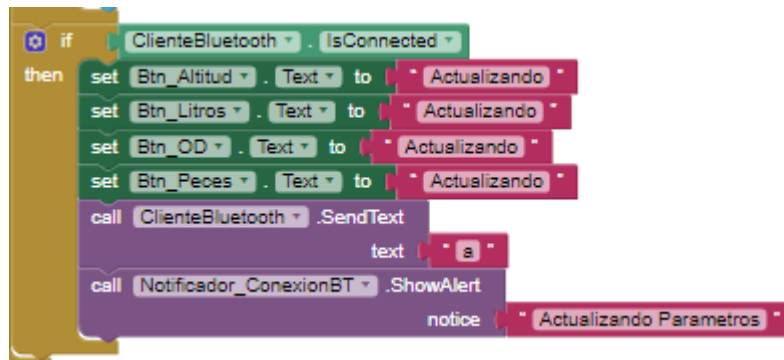
Figura 37. **Programación para actualizar datos en Arduino**

```
case 'a': //actualizar
  DatoTx = "p|"; DatoTx += P_Peces; DatoTx += "|"; DatoTx += P_OD; DatoTx += "|";
  DatoTx += P_Altitud; DatoTx += "|"; DatoTx += P_Litros;
  Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
  Serial.println(DatoTx); //*****
  delay(3000); //1 segundo para enviar el parametro
  DatoTx = "m|"; DatoTx += modo; DatoTx += "|"; DatoTx += estado; DatoTx += "|m|m";
  Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
  Serial.println(DatoTx); //*****
  break;
```

Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Arduino.

La aplicación "Control OD" envía una variable "a", la cual el Arduino interpreta que está realizando una actualización de parámetros de entrada, este recibe la cadena de datos y lee cada uno hasta el limitador "|" y los asigna a las variables: P_Peces, P_OD, P_Altitud, P_Litros.

Figura 38. Programación para actualizar datos en aplicación

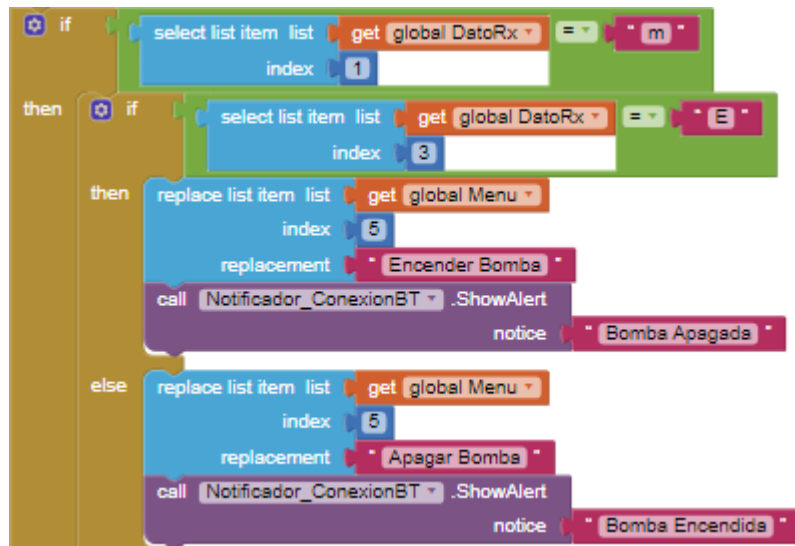


Fuente: APP Inventor. Control OD. Aplicación propia.

4.3.4. Modo manual

La aplicación “Control OD” se conecta directamente al sistema Arduino, que es el cerebro de control de acciones. Puede ser utilizado de modo manual, la aplicación envía la orden de encender el aireador, en este estado se tendrá información del estanque pero el momento de aireación para subir el oxígeno dentro del estanque es totalmente independiente de lo seleccionado por el usuario, solo puede ser seleccionado el estado de encendido y apagado de bomba.

Figura 39. Programación en modo manual Android



Fuente: APP Inventor. Control OD. Aplicación propia.

El modo manual se comporta como un sistema de control abierto, esto quiere decir que, a pesar de que el Arduino este enviando información del ecosistema del estanque, este no realiza ninguna variación de su estado dependiendo de la información recibida.

4.3.5. Modo automático

Al seleccionar el modo automático en la aplicación “Control OD”, es enviada vía serial una variable “M”. El Arduino recibe esta variable vía serial por el *Bluetooth*, entra al modo automático, el cual se encarga de las variables ingresadas por el usuario y de realizar una comparación de la información del oxígeno disuelto medido contra el oxígeno disuelto requerido por el usuario. Si el oxígeno medido es mayor que el oxígeno requerido por el usuario, la bomba aireadora se encuentra en estado apagado, de lo contrario, si los datos

requeridos por el usuario de la aplicación dan una cantidad de oxígeno requerido mayor al oxígeno disuelto medido, la bomba aireadora empezará a airear el agua, generando un cambio de temperatura en las partes bajas del estanque; esto varía la cantidad de oxígeno medido en el ecosistema marino.

Las variables de cantidad de peces, oxígeno disuelto requerido y litros de agua se multiplican, dando esto la cantidad de oxígeno en el estanque. Al realizar la multiplicación del oxígeno disuelto medido mediante la ecuación $0,0039 (pmt)^2 - 0,3395 (pmt) + 14,316$, da como resultado el oxígeno total medido dentro del estanque.

Figura 40. **Programación en modo automático en Arduino**

```
case 'M': //modo automatico
    digitalWrite(bomba, LOW);
    modo = 'M';
    estado = 'E';
    DatoTx = "p|"; DatoTx += P_Peces; DatoTx += "|"; DatoTx +=
    P_OD; DatoTx += "|"; DatoTx += P_Altitud; DatoTx += "|";
    DatoTx += P_Litros;
    Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
    Serial.println(DatoTx); //*****
    delay(3000); //1 segundo para enviar el parametro
    DatoTx = "m|"; DatoTx += modo; DatoTx += "|"; DatoTx +=
    estado; DatoTx += "|m|m";
    Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
    Serial.println(DatoTx); //*****
    Serial.println("Auto"); //*****
    break;
```

Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Arduino.

4.4. Acople de potencia

Debido a que la bomba maneja corriente alterna y el sistema de control es completamente corriente directa, se debe realizar un acople de potencias, es decir mediante el pulso directo que es enviado por el Arduino al Pin 13. Para

ello es enviado por la aplicación una variable “e” y para ser apagado se envía una variable “E”.

Figura 41. **Programación de Arduino de encendido y apagado de bomba**

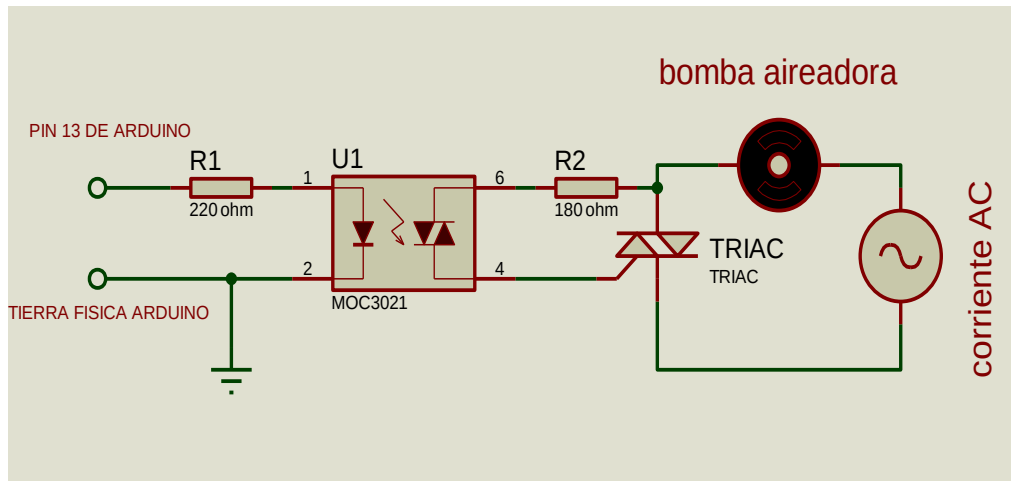
```
case 'e': //encender la bomba
  Serial.println("encender"); //*****
  if (modo == 'm'){
    digitalWrite(bomba, HIGH);
    estado = 'e';
  }
  break;
case 'E': //apagar la bomba
  if (modo == 'm'){
    digitalWrite(bomba, LOW);
    estado = 'E';
  }
}
```

Fuente: elaboración propia, empleando Sketch Arduino.

El Pin 13 se configura como modo digital y este puede ser puesto en estado alto cuando en modo automático la comparación entre el oxígeno disuelto medido es menor que el oxígeno disuelto requerido, o si el sistema se encuentra en modo manual y es seleccionado el encendido de la bomba.

Se utiliza un opto-acoplador MOC3021, el cual es el encargado de aislar los circuitos que utilizan corriente directa de los que utilizan corriente alterna. Este funciona con un *fototriac*, el cual se activa al momento de ser activado el diodo infrarrojo de entrada, y permite el paso de corriente. En la salida del Pin 4 del MOC3021 se conecta a la puerta de otro *triac* encargado de dejar circular corriente hacia la bomba aireadora.

Figura 42. Diagrama esquemático de acople de potencia



Fuente: *Herramienta de control para Arduino*. Elaboración propia, empleando Proteus.

5. MANUAL DE USUARIO. APLICACIÓN DE CONTROL OD

La aplicación Control OD ha sido diseñada para el sistema operativo Arduino. Es la encargada de realizar la interacción del sistema de oxigenador programable para estanques con el usuario. El archivo de instalación tiene un peso de 1,55 megabytes, posterior a la instalación tiene una ocupación de espacio en memoria de 6,38 megabytes.

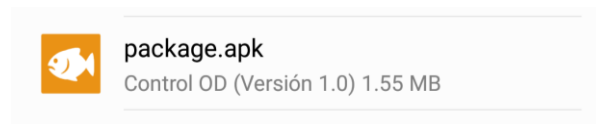
5.1. Requerimientos mínimos del sistema

- 10 megabytes de espacio para instalación
- 512 megabytes de memoria RAM
- Sistema operativo Jelly Bean 4.1.
- CPU 1.2 GHz
- *Bluetooth A2DP*

5.2. Guía de instalación de aplicación

- Paso 1: descarga de APK “Control OD”.

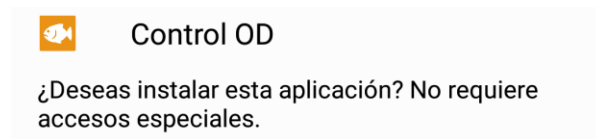
Figura 43. Paquete APK de instalación



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9.

- Paso 2: dar *clic* en la opción de instalar.

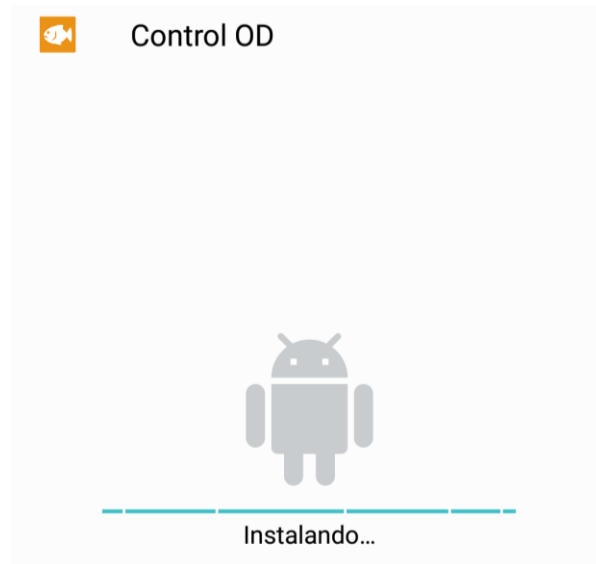
Figura 44. **Confirmación de instalación de aplicación**



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9.

- Paso 3: esperar que la instalación finalice.

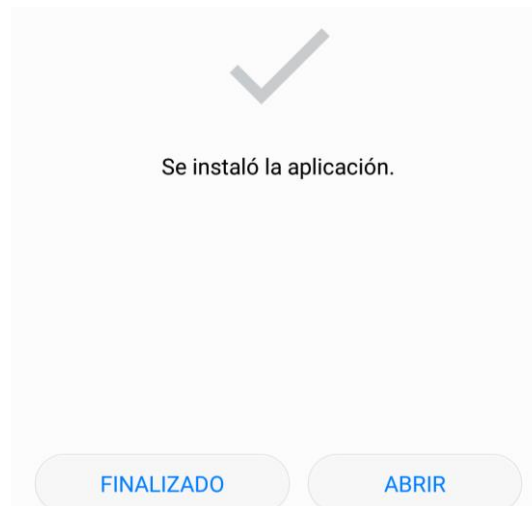
Figura 45. **Instalación de aplicativo**



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9

- Paso 4: finaliza la instalación del aplicativo.

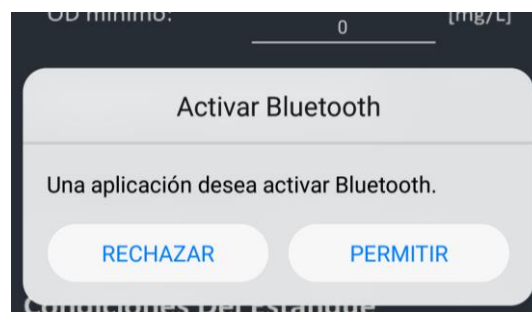
Figura 46. **Confirmación de instalación correcta de la aplicación**



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9

- Paso 5: permitir utilización y activación de *Bluetooth*; la contraseña configurada para el Bluetooth es 2424.

Figura 47. **Pantalla de solicitud de permiso *Bluetooth***



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9.

- Paso 6: finalización.

Figura 48. **Ícono de aplicación**



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9.

5.3. Guía de configuración

Los parámetros que pueden ser ingresados por el usuario son el número de peces, OD mínimo requerido por el usuario, altitud de referencia del lugar donde se encuentra el estanque y la cantidad de litros de agua contenidos en este.

Figura 49. **Aplicación de Control OD**

Control OD - Modo Automatico		
Opciones ≡		
Parametros		
numero de peces:	0	
OD minimo:	0	[mg/L]
altitud referencia:	0	[m]
litros de agua:	0	[L]

Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9.

En la parte superior izquierda se puede observar el modo en el que actualmente se encuentra funcionando el dispositivo. Cada campo de texto recibe solo datos numéricos.

5.3.1. **Actualización de parámetros**

- Paso 1: ingresar los datos nuevos en los campos de texto de la caja de parámetros.
- Paso 2: seleccionar el botón de Opciones, colocado en la parte superior de la pantalla centrado.
- Paso 3: seleccionar el botón de Actualizar Parámetros.
- Paso 4: observar los datos actuales configurados en el sistema de Oxigenador programable para estanques.

5.3.2. Enviar parámetros nuevos

- Paso 1: escribir los parámetros nuevos número de peces, OD mínimo, altitud de referencia, litros de agua.
- Paso 2: seleccionar el botón de Opciones, colocado en la parte superior de la pantalla (centrado).
- Paso 3: seleccionar el botón de Enviar Parámetros.
- Paso 4: observar los datos enviados en el sistema de Oxigenador programable para estanques.

5.3.3. Modo manual o automático

En la parte superior izquierda se observa, en letras amarillas, el modo actual del sistema, para realizar cambio de modo manual a automático y viceversa. Se debe seleccionar el botón de opciones, seguidamente el botón de manual (si este actualmente está en automático), esto da la opción de encender y apagar la bomba aireadora del estanque, como sea requerido por el usuario.

Para pasar de modo manual a modo automático, se debe seleccionar nuevamente el menú de opciones en la parte superior al centro de la pantalla, seleccionar el botón de automático. Debe tenerse en cuenta que se recibirán los parámetros configurados con anterioridad por el usuario, así la acción de encendido de bomba aireadora se realiza, según el requerimiento automático del sistema.

Figura 50. **Cambio de modo manual a automático**



Fuente: elaboración propia, empleando pantalla de celular Huawei Mate 9.

CONCLUSIONES

1. El cambio abrupto de la temperatura cambia la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. Esto conlleva la sobresaturación o la escasez del mismo, el cual impacta directamente en el desarrollo físico de las especies acuáticas.
2. Se muestran los procesos para oxigenar el agua en un estanque, lo cual se puede realizar de manera natural, transfiriendo gases de la atmósfera hacia el agua, con el apoyo de aireadores y de manera fotosintética, pues estos son producidos por las algas debido a la ruptura de los enlaces químicos en el agua, producidos a su vez por la radiación de energía.
3. Se determinaron los elementos necesarios para la construcción de un diseño de oxigenador de agua programable para estanques, determinando las características de costo, precisión y disponibilidad.
4. Se brindó una propuesta de un sistema de oxigenador de agua para estanques, con base en componentes electrónicos eficientes y de bajo costo. Este puede ser programado por el usuario para calcular la cantidad de oxígeno disuelto requerido para mantener un ecosistema adecuado para los peces que se tengan en un estanque. Tiene dos modos: manual y automático, los cuales controlan la aireación del agua de manera óptima, reduciendo costos de utilización de energía. Debido al control del tiempo de encendido del aireador, esto se realiza comparando

las condiciones deseadas por el usuario contra las condiciones medidas en el estanque.

5. Se mostró la forma correcta de utilizar la aplicación Control OD, la cual se encarga de brindar una interfaz amigable al usuario y desde la cual pueden programarse las variables requeridas para oxigenar un estanque y adecuar el ecosistema acuático para que sea apto para las especies que se encuentran dentro.

RECOMENDACIONES

1. Se deberá contar con una fuente de alimentación AC cercana, debido a que el sistema Arduino requiere un convertidor de AC a DC vía puerto USB.
2. Contar con especies específicas de peces, que requieran el mismo tipo de cuidados para no afectar su desarrollo.
3. Tener un manual de usuario.
4. Realizar una limpieza constante de las partículas superficiales contaminantes del agua.
5. Al momento de realizar un cambio de agua en un estanque, es indispensable ambientar previamente a los peces y, posteriormente, liberarlos en el estanque con el agua nueva.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Acuarioterapia. Lagunas y estanques para peces.* [en línea]. <<http://acuarioterapia.es.tl/LAGUNAS-Y-ESTANQUES-PARAPECES>>. [Consulta: 20 de agosto de 2016].
2. ALI GAGO, Ismail. *El agua.* [en línea]. <<http://platea.pntic.mec.es/~iali/personal/agua/agua/propieda.htm>>. [Consulta: 16 de julio de 2016].
3. Arduino. *ATmega2560-Arduino Pin Mapping.* [en línea]. <<https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping2560>>. [Consulta: 5 de marzo de 2017].
4. BERRENCHEA MARTEL, Ada. *Aspectos fisicoquímicos de la calidad del agua.* [en línea]. <<http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manual1/tomol/uno.pdf>>. [Consulta: 15 de mayo de 2016].
5. BLANCO, ADRIÁN. *Oxigenación del agua: proceso natural y artificial.* [en línea]. <<https://peces-tropicales.idoneos.com/generalidades/aireacion/>>. [Consulta: 3 de septiembre de 2016].
6. BRESSAN, Luis A. *Enfermedades de peces.* [en línea]. <<https://enciclopediaanimal.wordpress.com/enfermedades-de-peces-y-los-remedios/>>. [Consulta: 26 de noviembre de 2016].

7. BROCEK, Álex. *Acuicultura y aprovechamiento del agua para el desarrollo rural*. [en línea]. <<https://cals.arizona.edu/azaqua/AquacultureTIES/publications/Spanish%20WHAP/GT6%20Intro%20al%20Cultivo.pdf>>. [Consulta: 3 de julio de 2016].
8. CASTAÑÓN, Alejandro. *Ecosistemas acuáticos*. [en línea]. <<http://ecosistemasingambiental.blogspot.com/2012/06/oxigeno-disuelto.html>>. [Consulta: 23 de julio de 2016].
9. COCHE, A. G. *Colección FAO. Capacitación. Mejora de la calidad de agua en los estanques*. [en línea]. <ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6709s/x6709s02.htm>. [Consulta: 26 de noviembre de 2016].
10. _____. *Colección FAO. Capacitación. Métodos sencillos para la acuicultura*. [en línea]. <ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_training/FAO_training/general/x6709s/Index.htm>. [Consulta: 15 de abril de 2016].
11. DE LA PEÑA CASTRILLO, Francisco. *El agua*. [en línea]. <<http://www.aula21.net/nutricion/agua.htm>>. [Consulta: 13 de marzo de 2016].
12. GALLI MERINO, Óscar. *Sistemas de recirculación y tratamiento de agua*. [en línea]. <http://www.minagri.gob.ar/sitio/areas/acuicultura/cultivos/otros/_archivos//000003Sistemas%20de%20recirculaci%C3%B3n%20y%20tratamiento%20de%20agua.pdf>. [Consulta: 10 de enero de 2017].

13. GARCÍA, Antonio. *Aprendiendo a utilizar el sensor de temperatura DS18B20*. [en línea]. <<http://panamahitek.com/aprendiendo-utilizar-el-sensor-de-temperatura-ds18b20/>>. [Consulta: 15 de abril de 2017].
14. _____. *Sensor de presión atmosférica, el BMP180*. [en línea]. <<http://panamahitek.com/sensor-de-presion-atmosferica-el-bmp180/>>. [Consulta: 8 de marzo de 2017].
15. MCGRAW HILL, Gerard. *Aireación y transferencia de gases*. [en línea]. <<https://procesosbio.wikispaces.com/Aireaci%C3%B3n+y+transferencia+de+gases>>. [Consulta: 7 de enero de 2017].
16. OSUSSY. *La oxigenación en el acuario*. [en línea]. <<http://biblioteca.portalpez.com/la-oxigenacion-en-el-acuario-vt2733.html>>. [Consulta: 24 de febrero de 2016].
17. R., David. *La importancia del aireador en un acuario*. [en línea]. <<http://www.taringa.net/posts/mascotas/14018517/La-Importancia-del-Aireador-en-un-Acuario.html>>. [Consulta: 16 de marzo de 2016].
18. RAMÍREZ, Rolando. *DS18B20, sensor de temperatura*. [en línea]. <<https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-de-temperatura-ds18b20/>>. [Consulta: 13 de mayo de 2017].
19. SAUBOT, Pablo J. *Cascadas*. [en línea]. <<http://www.elestanque.com/equipo/cascadas.html>>. [Consulta: 30 de julio de 2016].

20. THAYER OJEDA, Luis. *Arduino MEGA 2560 R3*. [en línea]. <<http://arduino.cl/arduino-mega-2560/>>. [Consulta: 5 de marzo de 2017].
21. TKACHUK, José Juan. *Construcción para criar peces en pequeños estanques*. [en línea]. <http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_peces/piscicultura/92-estanques.pdf>. [Consulta: 2 de julio de 2016].
22. Wikipedia. *Efecto Venturi*. [en línea]. <https://es.wikipedia.org/wiki/Efecto_Venturi>. [Consulta: 15 de marzo de 2016].

APÉNDICES

Apéndice 1. Programación de medidor de OD, configurado en placa Arduino Mega

```
#include <TimerOne.h>
#include <Wire.h> //Including wire library
#include <SFE_BMP180.h> //Including BMP180 library
#include <OneWire.h> //Incluimos las librerias para controlar los sensores
de temperatura sumergible
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 33
SFE_BMP180 pressure; //Creating an object
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); // Configuramos para comunicar
con otros dispositivos 1-Wire
DallasTemperature sensores(&oneWire); // Indicamos el pin asignado al
sensor 1-Wire a DallasTemperature
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//// variables
String DatoRx, DatoTx;
char modo, estado; //modo=automatico/manual
estado=encendido/apagado
char status;
byte flag;
double T, P, p0, pmt, OD; //Creating variables for temp, pressure and
relative pressure
int P_Peces, P_Altitud, T_OD;
```

Continuación del apéndice 1.

```
float P_OD, P_Litros, P_OD_Requerido, P_OD_Total;
int bomba = 13;

void setup() {
  modo = 'M'; //automatico
  estado = 'E'; //apagado
  P_Peces = 1; //1 pez de referencia
  P_OD = 1; //1 mg/L de referencia
  P_Altitud = 1494; //Altitud de referencia de Ciudad de Guatemala
  P_Litros = 1; //1 L de referencia
  P_OD_Requerido = P_Peces * P_OD * P_Litros; //n * ml * l
  pinMode(bomba, OUTPUT);
  digitalWrite(bomba, LOW);
  Serial.begin(115200); //iniciamos comunicacion serial
  sensores.begin(); //Iniciamos la libreria para la lectura de los sensores
  pressure.begin(); //iniciamos la libreria de lectura de presion
  Serial1.begin(115200); //115200
  Serial.println("Inicio de Programa");
  //Timer
  Timer1.initialize(100000); // Dispara cada 100 ms
  Timer1.attachInterrupt(ISR_Timer1); // Activa la interrupcion y la asocia a
ISR_Timer1
}
void ISR_Timer1(){
  noInterrupts();
  //Serial.println("1");
  interrupts();
}
```

Continuación del apéndice 1.

```
}
void loop() {
  RecibirBT(); //recibir si hay datos disponibles en el BT
  Medir(); //medicion de los sensores
  EnviarBT();//enviar los datos a la app
  //Medicion tiempo encendido de bomba
  P_OD_Requerido = P_Peces * P_OD * P_Litros;
  P_OD_Total = OD * P_Litros;
  Serial.println(P_OD_Requerido); //*****
  Serial.println(P_OD_Total); //*****
  if (modo == 'm'){ //si esta en modo manual
    if (P_OD_Total < P_OD_Requerido){
      T_OD = P_OD_Requerido - P_OD_Total;
      digitalWrite(bomba, HIGH); //encender bomba
      Serial.println(T_OD); //*****
    }
    else{
      digitalWrite(bomba, LOW); //apagar bomba
    }
  }
  //Imprimir datos
  //Serial.print("Temperatura exterior: "); Serial.println(T);
  //Serial.print("Temperatura          En          El          Agua:          ");
  Serial.println(sensores.getTempCByIndex(0)); //Se lee e imprime la temperatura
  en grados Celsius
  //Serial.print("Presion Atmosferica: "); Serial.println(p0);
  //Serial.print("OD: "); Serial.print(OD); Serial.println(" mg/l");
```

Continuación del apéndice 1.

```
//Serial.print("Temperatura media: "); Serial.println(pmt);//promedio de
temperaturas fuera y dentro de la pecera
```

```
//Serial.println(" ");
```

```
//
```

```
delay(1000); //1 segundo para la proxima lectura
```

```
}
```

```
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
```

Procedimientos

```
void Medir(){
```

```
status = pressure.startTemperature();
```

```
if (status != 0) {
```

```
delay(status);
```

```
status = pressure.getTemperature(T);
```

```
if (status != 0) {
```

```
status = pressure.startPressure(3);
```

```
if (status != 0) {
```

```
delay(status);
```

```
status = pressure.getPressure(P, T);
```

```
if (status != 0) {
```

```
p0 = pressure.sealevel(P, P_Altitud);
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
sensores.requestTemperatures(); //Prepara el sensor para la lectura
```

Continuación del apéndice 1.

```
pmt = (sensores.getTempCByIndex(0)+T)/2; //cálculo de la temperatura media.
```

```
OD = (0.0039*pmt*pmt)-(0.3395*pmt)+(14.316);
```

```
}
```

```
void EnviarBT(){
```

```
    DatoTx = "d"; DatoTx += "|"; DatoTx += T; DatoTx += "|"; DatoTx +=  
sensores.getTempCByIndex(0); DatoTx += "|"; DatoTx += p0; DatoTx += "|";  
DatoTx += OD;
```

```
    Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
```

```
}
```

```
void RecibirBT(){
```

```
    int boundLow, boundHigh;
```

```
    char delimiter = '|';
```

```
    if (Serial1.available() > 0){ //Si hay dato disponible en el puerto serie
```

```
        DatoRx = Serial1.readString();
```

```
        if (DatoRx.length() > 0)
```

```
        {
```

```
            Serial.println(DatoRx); //*****
```

```
            switch (DatoRx[0]) {
```

```
                case 'm': //modo manual
```

```
                    digitalWrite(bomba, LOW);
```

```
                    modo = 'm';
```

```
                    estado = 'E';
```

```
                    Serial.println("Manual"); //*****
```

```
                    break;
```

```
                case 'M': //modo automatico
```

```
                    digitalWrite(bomba, LOW);
```


Continuación del apéndice 1.

```
    modo = 'M';
    estado = 'E';
    DatoTx = "p|"; DatoTx += P_Peces; DatoTx += "|"; DatoTx += P_OD;
DatoTx += "|"; DatoTx += P_Altitud; DatoTx += "|"; DatoTx += P_Litros;
    Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
    Serial.println(DatoTx); //*****
    delay(3000); //1 segundo para enviar el parametro
    DatoTx = "m|"; DatoTx += modo; DatoTx += "|"; DatoTx += estado;
DatoTx += "|m|m";
    Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
    Serial.println(DatoTx); //*****
    Serial.println("Auto"); //*****
    break;
case 'e': //encender la bomba
    Serial.println("encender"); //*****
    if (modo == 'm'){
        digitalWrite(bomba, HIGH);
        estado = 'e';
    }
    break;
case 'E': //apagar la bomba
    if (modo == 'm'){
        digitalWrite(bomba, LOW);
        estado = 'E';
    }
    break;
case 'a': //actualizar
```

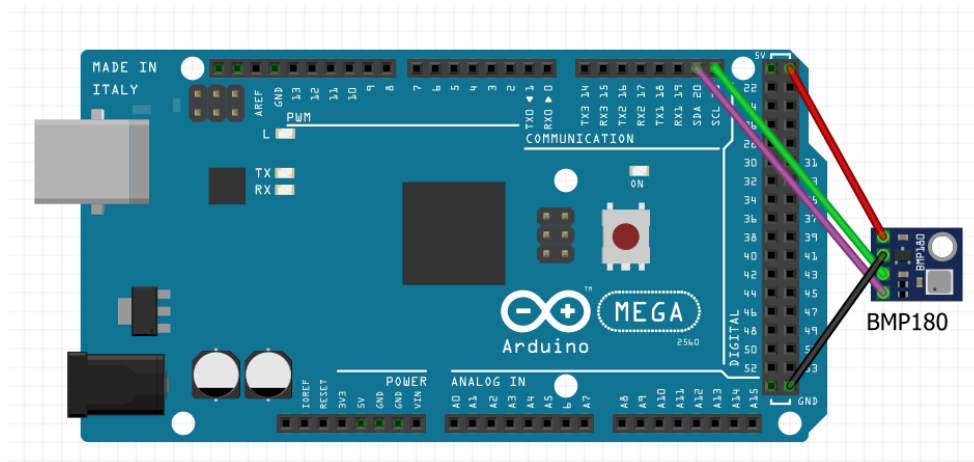
Continuación del apéndice 1.

```
DatoTx = "p|"; DatoTx += P_Peces; DatoTx += "|"; DatoTx += P_OD;
DatoTx += "|"; DatoTx += P_Altitud; DatoTx += "|"; DatoTx += P_Litros;
Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
Serial.println(DatoTx); //*****
delay(3000); //1 segundo para enviar el parametro
DatoTx = "m|"; DatoTx += modo; DatoTx += "|"; DatoTx += estado;
DatoTx += "|m|m";
Serial1.print(DatoTx); //manda cadena de datos
Serial.println(DatoTx); //*****
break;
default: //parametros de la app
    boundLow = DatoRx.indexOf(delimiter); //Posicion del primer dato
    P_Peces = DatoRx.substring(0, boundLow).toInt(); //Saca primer
dato
    boundHigh = DatoRx.indexOf(delimiter, boundLow+1);
    P_OD = DatoRx.substring(boundLow+1, boundHigh).toFloat();
    boundLow = DatoRx.indexOf(delimiter, boundHigh+1);
    P_Altitud = DatoRx.substring(boundHigh+1, boundLow).toInt();
    P_Litros = DatoRx.substring(boundLow+1).toFloat();
    Serial.print(P_Peces);    Serial.print("    ");    Serial.print(P_OD);
Serial.print(" "); Serial.print(P_Altitud); Serial.print(" "); Serial.println(P_Litros);
    }
    }
    }
}
```

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Conexión de sensor de temperatura y presión atmosférica BMP180 en Arduino mega 2560**

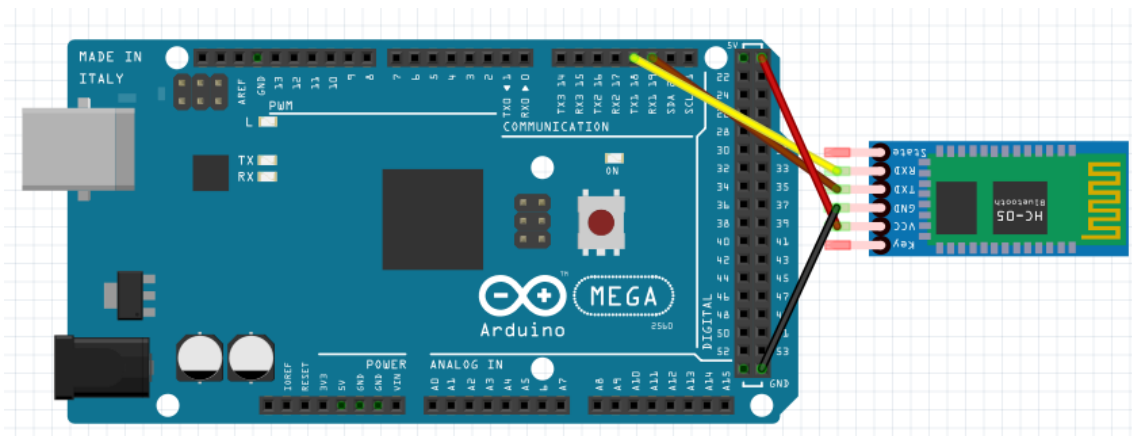
Diagrama de conexión BMP180



Fuente: elaboración propia, empleando Fritzing.

Apéndice 3. **Conexión de módulo Bluetooth hc-05 con Arduino mega 2560**

Diagrama de conexión de Bluetooth HC-05



Fuente: elaboración propia, empleando Fritzing.