

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE CONTROL DE
TEMPERATURA Y DE PH PARA MEJORAR LA CRIANZA DE
ALEVINOS DE PAICHE DE ETAPA 1 EN EL INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

Marco Antonio Guillermo Farfan Quiroz

ASESOR: MEng Roberto Sumiyoshi Furukawa Fukuda

Lima, octubre del 2018

RESUMEN

Los alevines de paiche de etapa 1 (cuando miden de 2 a 7cm) son muy vulnerables ante cambios bruscos de temperatura y de pH. Así, en su hábitat natural, la tasa de mortalidad de alevinos de paiche durante esta etapa puede ser de hasta un 80% cuando no se les da un debido seguimiento a los parámetros críticos del agua. Estos parámetros pueden variar en cualquier momento del día y resulta complicado e ineficiente tener a personas haciendo mediciones de forma constante a lo largo del día para corregir los posibles cambios. Entonces se hace indispensable el uso de tecnología para hacer frente a esta problemática.

Por ello, el presente trabajo tiene por finalidad diseñar un sistema automatizado de control de temperatura y de pH en la crianza de alevines de paiche de etapa 1 en los laboratorios del Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana.

El cuerpo del presente documento consta de cuatro capítulos. En el primero, se presenta las características del paiche para tener una mayor comprensión del contexto en el que habita y se define la problemática. El segundo capítulo describe específicamente la acuicultura del paiche, la etapa de vida en la cual se centrará este trabajo y muestra las tecnologías empleadas hasta la fecha en el ámbito de acuicultura. En el tercer capítulo se describe la propuesta de solución del presente objeto de estudio, todos los componentes a utilizar y su respectivo diseño. Finalmente, en el cuarto capítulo se hace una simulación del sistema a través de software, se muestra el alcance del trabajo y el presupuesto del mismo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. EL PAICHE COMO RECURSO HIDROBIOLÓGICO.....	2
1.1 ACTUALIDAD DE LAS ESPECIES ACUÁTICAS	2
1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PAICHE	2
1.2.1 <i>Características Biológicas</i>	2
1.2.2 <i>Hábitat y Sistema Respiratorio</i>	3
1.3 PRINCIPALES DEPREDADORES	4
1.4 PESCA DEL PAICHE	4
1.5 MERCADO INTERNACIONAL	4
1.6 DECLARACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA.....	4
CAPÍTULO 2. ACUICULTURA DEL PAICHE Y LA TECNOLOGÍA OPERATIVA ACTUAL	6
2.1 ACUICULTURA.....	6
2.1.1 <i>Tipos de Acuicultura</i>	6
2.1.2 <i>Acuicultura del Paiche</i>	6
2.1.3 <i>Buenas Características del Paiche para su Acuicultura</i>	8
2.1.4 <i>Beneficios de la Acuicultura del Paiche</i>	9
2.2 CONCEPTOS Y TECNOLOGÍAS USADAS ACTUALMENTE EN LA ACUICULTURA....	9
2.2.1 <i>Trabajos de Tesis Pasados en Acuicultura en la PUCP</i>	10
2.2.2 <i>Sistema de Recirculación de Agua</i>	11
CAPÍTULO 3. CONTROL DE TEMPERATURA Y DE PH EN EL PROCESO DE CRIANZA DE ALEVINES DE PAICHE DE ETAPA 1	12
3.1 CRIANZA DE ALEVINOS DE PAICHE EN EL IIAP	12
3.2 SENSORES DE TEMPERATURA Y DE PH	14
3.2.1 <i>Sensor de Temperatura</i>	14
3.2.2 <i>Sensor de pH</i>	16
3.3 ACTUADORES DEL SISTEMA.....	17
3.3.1 <i>Calefactor</i>	17
3.3.2 <i>Válvulas Solenoides</i>	20
3.4 SENSORES DE NIVEL DEL TANQUE	26
3.5 INDICADORES LUMINOSOS	30
3.6 CONTROLADOR.....	32
3.7 ALIMENTACIÓN.....	37
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	40
4.1 SIMULACIÓN DEL SISTEMA.....	41
4.1.1 <i>Simulación en Proteus</i>	41
4.1.2 <i>Simulación en Matlab</i>	44

4.1.3 Simulación en AutoCAD Plant 3D	51
4.2 ALCANCE DEL PROYECTO.....	52
4.3 PRESUPUESTO Y RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	53
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	57
FUENTES	58



INTRODUCCIÓN

La acuicultura es el cultivo o crianza de peces o plantas acuáticas. El objetivo de esta técnica es incrementar la producción de la especie, y su éxito se basa en el control de los principales parámetros del agua como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto, etc. Para poder realizar un control efectivo de estas variables se debe hacer uso de tecnologías de control. Sin embargo, actualmente en muchos casos son personas las que realizan el control de estos parámetros; lo hacen de manera semi manual, a través de sus sentidos. Esto impide un control constante y preciso, puesto que las personas son más susceptibles a errores.

Por otro lado, los sistemas de control automatizados son herramientas que actualmente han tomado gran importancia en distintas áreas, una de ellas la acuicultura, puesto que estos sistemas aseguran un mejor control de los parámetros que miden.

Actualmente la gran mayoría de alevinos de paiche de fase 1, cuando miden de 2 a 7cm de longitud, mueren en esa etapa de vida principalmente por la falta de precisión en el control de los parámetros del agua. Por ello, es necesario diseñar un sistema de control automatizado que permita realizar los ajustes necesarios en tiempo real para disminuir su tasa de mortalidad.

El objetivo de esta tesis es diseñar un sistema de control automatizado en base a los parámetros críticos del agua, temperatura y pH, para tener un control más efectivo de dichas variables en la crianza de alevinos de paiche de etapa 1 en el IIAP.

CAPÍTULO 1. EL PAICHE COMO RECURSO HIDROBIOLÓGICO

1.1 ACTUALIDAD DE LAS ESPECIES ACUÁTICAS

La cuenca amazónica contiene la mayor diversidad de peces del mundo, son alrededor 2000 especies de peces que se han descubierto en total. La pesca se ha convertido en una actividad de suma importancia para la alimentación de zonas rurales así como de zonas urbanas. La mayor demanda de pescados por la creciente población ha ocasionado un aumento en su caza. Para satisfacer las necesidades de la población se puede aprovechar la geografía y clima que ofrece la amazonia para desarrollar la piscicultura. A pesar de la gran diversidad de especies acuáticas nativas en la amazonia, se ha dado mayor énfasis a especies introducidas como la tilapia y la carpa [5] [7]. Se debe también darle importancia a la piscicultura de las especies nativas como el paiche.

El *Arapaima gigas*, también conocido como paiche en Perú y como pirarucu en Brasil, es un pez de la cuenca amazónica. Posee una excelente calidad de carne, esto ha generado su pesca indiscriminada y con ello una gran reducción en su población [3].

1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PAICHE

1.2.1 Características Biológicas

El paiche es el pez de escamas de agua dulce más grande de la cuenca amazónica y uno de los más grandes del mundo. En promedio puede llegar a medir 2.5 metros y pesar 250 kilogramos. De su carne se puede obtener un 57% de filete y es de sabor muy agradable. Son las buenas características del paiche las que han generado su pesca indiscriminada hasta el punto que puede llegar a ser considerada especie en peligro de extinción. Físicamente, el paiche posee una pequeña cabeza comparada con su cuerpo, su boca es de forma oblicua con dientes pequeños y la lengua es enorme y de origen óseo. Tiene un cuerpo alargado, circular con escamas. Los paiches adultos poseen una gran corpulencia y piel con grandes escamas, lo cual es considerado su principal defensa natural. Es de

color castaño claro en el dorso y blanquecino en las zonas lateral y ventral, y pardo negruzco en la cabeza. Está presente en toda la cuenca del Amazonas. Es un pez carnívoro y como tal se alimenta de peces pequeños, peces de 5% del tamaño del paiche, succiona a sus presas con tal fuerza que las mata antes de tragárselas; adicionalmente demuestra una buena capacidad de adaptación al consumo de alimentos extrusados, los cuales poseen los niveles de proteína adecuados a cada etapa de crecimiento. Esta es una característica muy importante del paiche, que puede recibir una dieta mixta entre carne de pequeños pescados y alimento extrusado. Se le puede alimentar con pescados por un tiempo, luego con alimento extrusado, luego volver a alimentarlo con pescado y así sucesivamente. Sin embargo, falta realizar más investigación en los aspectos nutricionales del paiche de modo que se tenga clara la mejor dieta de acuerdo a su etapa de desarrollo [1] [2].



Figura 1. Paiche adulto [6].

1.2.2 Hábitat y Sistema Respiratorio

El paiche habita específicamente en las orillas con gran densidad de hierbas y en ambientes laterales a ríos como lagunas. Durante el día busca una sombra entre la vegetación acuática para poder ocultarse de los fuertes rayos solares, busca alimento durante el amanecer o atardecer. El sistema branquial del paiche no le es suficiente para abastecerse de oxígeno debido a su gran masa corporal, para ello usa además su vejiga natatoria que funciona como un pseudo pulmón, la cual funciona como su órgano respiratorio primordial. Gracias a esta doble respiración es que el paiche

puede vivir sin problemas en aguas con poco oxígeno causada por la elevada temperatura del ambiente [1] [2].

1.3 PRINCIPALES DEPREDADORES

Entre los predadores principales del paiche están las aves cushuri, el martín pescador y garzas, y por otro lado el pez piraña y el shuyo.

1.4 PESCA DEL PAICHE

Uno de los lugares que alberga la mayor cantidad de paiche es la Reserva Nacional Pacaya-Samiria [10]. La carne del paiche, gracias a un proceso artesanal de salado y deshidratación, puede ser conservada por varios meses. El salado se hace cuando el pez está fresco, es decir al momento de su captura. El paiche tiene un valor nutritivo mucho más elevado que el de otras especies. Actualmente hay leyes que regulan la pesca del paiche, por ejemplo una dice que está prohibido cazar ejemplares menores de 1 metro 60 centímetros de longitud, otra prohíbe su pesca durante el periodo de mayor incidencia de reproducción natural. Algunas instituciones como el Ministerio de Pesquería y el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana están promoviendo el cultivo del paiche para conservar la especie [1] [2].

1.5 MERCADO INTERNACIONAL

La demanda del paiche está creciendo. Así, el mercado internacional exige entre 10 a 20 toneladas mensuales de filete de paiche, lo cual es imposible de lograr en las condiciones actuales. Está claro que existe un mercado potencial en el extranjero [1] [2].

1.6 DECLARACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

La problemática reside en la falta del uso de tecnología para llevar a cabo la medición y el control de las variables importantes del agua en la crianza de alevinos de paiche de etapa 1 en la amazonia peruana. Estas variables son

la temperatura y el pH, ya que al estar fuera de los rangos permitidos, el alevín de paiche no crece ni se reproduce debidamente, ocasionando altas tasas de mortalidad. Es muy ineficiente que una persona realice constantemente dichas mediciones, la máquina lo hace de una manera más precisa. Además, dada la gran cantidad de paiches que se crían de forma simultánea, resulta casi imposible contar con el personal necesario para su crianza. Definitivamente mediante un sistema automatizado de control de temperatura y de pH se mejorará considerablemente la crianza y producción del paiche.



CAPÍTULO 2. ACUICULTURA DEL PAICHE Y LA TECNOLOGÍA OPERATIVA ACTUAL

2.1 ACUICULTURA

La acuicultura es el cultivo o crianza de recursos hidrobiológicos (plantas acuáticas y peces). El objetivo es incrementar la producción de la especie ya sea en ambientes naturales o artificiales. Es uno de los sectores de alimentación de más rápido crecimiento y representa aproximadamente el 50% del pescado consumido a nivel mundial. Así, la acuicultura está superando a la pesca en rendimiento. Por lo tanto, la demanda creciente de pescado de la población deberá ser atendida solamente por la piscicultura [4].

2.1.1 Tipos de Acuicultura

La acuicultura se puede dividir en tres tipos principalmente: extensiva, semi intensiva e intensiva. En la acuicultura extensiva se siembran peces con fines sociales, recreativos o de alimentación. El volumen del agua no es controlado y los peces comen alimento natural. La acuicultura semi intensiva usa estanques no muy sofisticados, a los peces se les da alimento suplementario además del alimento natural. Finalmente, la acuicultura intensiva se realiza con el objetivo de generar una producción comercial de la especie, es decir, el caso de la presente tesis. En este caso, la alimentación de los peces es mediante una dieta balanceada de alto valor nutritivo, el éxito de este tipo de cultivo se basa en el control de los principales parámetros del agua como la temperatura, el pH, etc., por lo que es necesario el uso de bastante tecnología e ingeniería. Además, este cultivo se realiza normalmente en estanques o en jaulas flotantes [7].

2.1.2 Acuicultura del Paiche

Está claro que se debe apuntar a la acuicultura intensiva, que es rentable y asegura la repoblación de la especie. El paiche vive aproximadamente de 15 a 20 años, pudiendo alcanzar hasta 10kg durante su primer año de vida. Como primera etapa tenemos la oval, en la que se encuentran dentro de los huevos que han sido depositados en un ambiente seguro, luego una vez que las larvas eclosionan pasan a ser alevinos de un tamaño un poco mayor a 1 centímetro y siguen creciendo hasta pasar los 40 centímetros. Después

pasan a la etapa juvenil, que se da hasta que los peces lleguen a medir 1,80 metros aproximadamente. Finalmente, tenemos la etapa adulta que es desde los 1,80 metros hacia adelante, pueden llegar a medir hasta 3 metros. También se sabe que los paiches empiezan a madurar sexualmente al cuarto año de vida cuando alcanzan los 1,60 metros de talla y que el desove se da cuando llegan a los 1,80 metros con mayor intensidad de octubre a marzo [1] [2] [8].

De todas las etapas, la fase de alevín es la más crítica en la producción del paiche, la tasa de supervivencia en esta etapa puede ser tan baja como 10% [3], ello debido a distintos factores naturales como la inestabilidad en la temperatura y pH del agua, la disponibilidad o calidad del alimento natural y la depredación por otros peces o aves. Por ello, nos centraremos en la etapa de alevinaje. Sin embargo, para ser más precisos será necesario dividir esta fase en sub etapas. Para ello se usará un trabajo de investigación de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria la Molina, detallado en la tabla 1 [3]:

Tabla 1. Datos obtenidos de Universidad Nacional Agraria la Molina, Facultad de Pesquería [3].

Características	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	Etapa 4
Duración	30 días	30 días	30 días	30 días
Talla	2 a 7 cm	7 a 15.5 cm	15.5 a 31 cm	31 a 40 cm
Peso	0.04 a 3.45 gr	3 a 48.5 gr	48.5 a 243.8 gr	243 a 600 gr
Temperatura	28.5 a 29.5 °C	28.5 °C	28 °C	28 °C
pH	7 a 7.2	7 a 7.2	7 a 7.3	7 a 7.3

Como se puede observar, los parámetros críticos en la crianza de alevinos de paiche son la temperatura y el pH.

Un factor a tener en cuenta es que el valor de pH varía con la temperatura. Sin embargo, esta variación es tan pequeña que puede ser despreciada. Por ejemplo, el pH del agua a 25°C es 7, pero si la temperatura sube a 40°C

entonces el pH será aproximadamente 6.98, por lo que no se toma en cuenta este efecto al hacer los cálculos [12].

La presente tesis se centrará en la etapa 1 del alevinaje, ya que esta es la que presenta la tasa de mortalidad más alta durante toda la vida del paiche, pudiendo llegar a ser de hasta el 80% en su hábitat natural. Esta tasa puede llegar a ser 30% si se usa un sistema automatizado de control de temperatura y de pH [3]. Existen principalmente tres opciones para el manejo de alevinos: laboratorio, estanques de tierra y jaulas. Los estanques de tierra y las jaulas son opciones que ofrecen un menor costo de producción, pero tienen menor precisión, ya que son ambientes abiertos. En el laboratorio en cambio los parámetros del agua pueden ser mejor controlados, por ello es la opción que ofrece la menor mortalidad. En este caso, los alevinos pueden ser almacenados en tanques de cemento, artesas de madera o acuarios de vidrio [10] [11].

Las condiciones que ofrece nuestro territorio nacional son muy convenientes para desarrollar la acuicultura por lo que se puede convertir en una actividad muy rentable. Por ejemplo en nuestra sierra tenemos aproximadamente 12000 lagos y lagunas que ofrecen buenas condiciones para la acuicultura. Igualmente en la amazonia se tienen varios centros de crianzas de especies acuáticas. Para el presente objeto de estudio se necesita de un laboratorio ubicado en un centro de investigación de recursos naturales. Por ello se escoge como lugar específico el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana (IIAP) con sede en la ciudad de Iquitos. Este centro cuenta con un laboratorio de Reproducción Artificial de Peces Amazónicos [8].

2.1.3 Buenas Características del Paiche para su Acuicultura

El cultivo del paiche se puede llevar a cabo gracias a las buenas características del mismo, como por ejemplo, su rápida aclimatación a ambientes artificiales, su posible reproducción en estanques, el hecho de que pueda ser alimentado con dietas mixtas: pescados y alimento extrusado, su capacidad de respirar aire atmosférico que no exige que los niveles de oxígeno en el agua sean muy altos, y el hecho de que pueden ser criados en

altas densidades sin ningún problema. El cultivo del paiche en estanques contribuye con la conservación de la especie.

2.1.4 Beneficios de la Acuicultura del Paiche

La demanda del paiche está claramente aumentando. Para cubrir las necesidades de la población, se debe de desarrollar la acuicultura intensiva con ayuda de un sistema de control electrónico. Con ello se consiguen ventajas en distintos aspectos. En primer lugar, al tenerlos en ambientes controlados se consigue repoblar la región de paiches. En segundo lugar, se logra satisfacer la demanda de carne de paiche no solo a nivel nacional, sino que también internacional. Finalmente, existe la posibilidad de aumentar el crecimiento de la economía nacional mediante este gran negocio. Se espera que en cinco años la acuicultura represente la tercera parte del Producto Bruto Interno pesquero (actualmente solo representa el 10%) [9].

Como se puede apreciar, existe un triple impacto: social, económico y ecológico. Queda claro que el desarrollo de la acuicultura de esta especie junto a un sistema de control electrónico automatizado puede proporcionar un desarrollo sostenible para el país.

2.2 CONCEPTOS Y TECNOLOGÍAS USADAS ACTUALMENTE EN LA ACUICULTURA

En la actualidad ya se han implementado sistemas de control automatizados de los distintos parámetros del agua en otras especies acuáticas, pero no al paiche. Por ello, la presente tesis busca adecuar un sistema de control a las características de esta especie.

En el anexo 4 se pueden ver los principales algoritmos de control.

El algoritmo de control on/off es el más utilizado en aplicaciones de acuicultura, ya que los parámetros a controlar del agua normalmente no presentan variaciones frecuentes en el tiempo; la temperatura y el pH por ejemplo son de respuesta lenta.

Los sistemas de control constan de tres componentes fundamentales: sensor, controlador y actuador. A continuación se presentarán algunas

tecnologías usadas actualmente en aplicaciones de acuicultura de distintas especies acuáticas.

2.2.1 Trabajos de Tesis Pasados en Acuicultura en la PUCP

A continuación se presenta una tabla con el resumen de tres trabajos de tesis de ciclos anteriores:

Tabla 2. Resumen Trabajos de Tesis PUCP en Acuicultura [13] [14] [15].

Tema de Tesis	Elementos	Desarrollo/Salidas
Control de Temperatura y Monitoreo de pH del Agua en el Proceso de Incubación de Tilapias Usando PLC [13]	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor temperatura LM35 • Encapsulado sumergible para el sensor LM35 • Electrodo de pH de la marca Hanna Instruments • Controlador lógico programable (PLC) • Calentador eléctrico resistivo sumergible de 220Vac y 25Watts de potencia • 2 LEDs de visualización 	<ul style="list-style-type: none"> • Se necesitó usar un circuito de acondicionamiento, tanto para el sensor de temperatura como para el de pH • Se implementó un sistema de control ON/OFF para la variable temperatura
Diseño e Implementación de un Instrumento de Medición de PH para la Crianza de Truchas [14]	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodo de pH HI 1230B • Microcontrolador Atmel • Visualizador LCD 	<ul style="list-style-type: none"> • Se empleó un circuito de acondicionamiento de señal para el electrodo de pH • Se logra ver en tiempo real el valor de pH del agua
Diseño de un Sistema de Monitoreo Remoto de Parámetros Ambientales Críticos de la Planta Piloto de Acuicultura de la PUCP [15]	<ul style="list-style-type: none"> • Termistor • Electrodo de membrana de vidrio • Sensores de nivel capacitivo • PC 	<ul style="list-style-type: none"> • Se utilizó un circuito de acondicionamiento de señal tanto para el termistor como para el electrodo de pH • Una vez leídos los valores de temperatura, pH y nivel del agua, estos pasan a una red LAN mediante tecnología Ethernet y de allí pueden ser observados en tiempo real en una página web

2.2.2 Sistema de Recirculación de Agua

Los RAS (Recirculating Aquaculture System) están siendo cada vez más usados. En el extranjero, como en Estados Unidos y en Europa, usan muchos estos sistemas para aplicaciones de acuicultura a gran escala. Se puede observar su funcionamiento en la siguiente imagen:

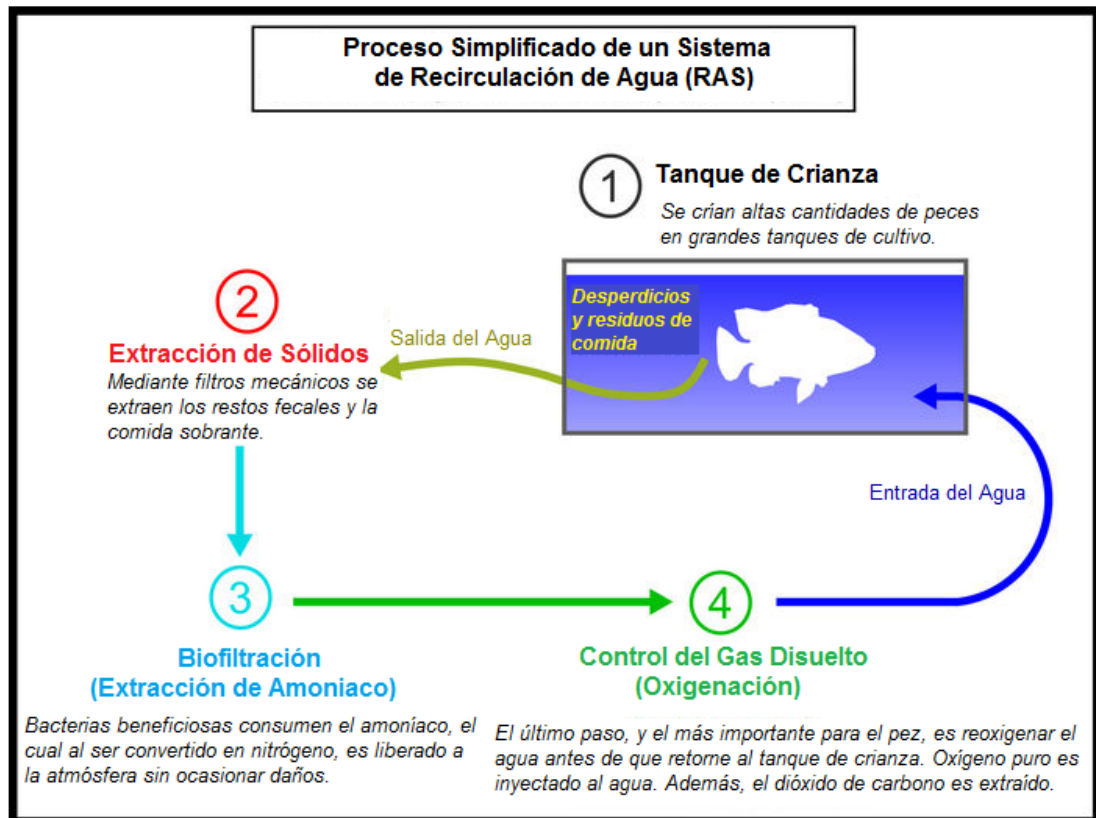


Figura 2. Sistema de Recirculación de Agua. Traducido al Español [22].

Como se puede ver en la figura 2, gracias a estos sistemas se consigue en primer lugar un gran ahorro del consumo de agua, puesto que solo es necesario un recambio diario del 10% del total de agua. En segundo lugar, se consigue eliminar los desechos de los peces y todo tipo de sólidos en suspensión. Finalmente, se pueden controlar los niveles de amoníaco y de CO₂, los cuales permiten regular el valor de pH del agua [16].

Sin embargo, existen ciertas desventajas, como los altos precios de los equipos y de su mantenimiento, la baja disponibilidad de los distintos componentes en el mercado local y el hecho de que se necesitan grandes y sofisticadas infraestructuras para poder hacerlos operar.

CAPÍTULO 3. CONTROL DE TEMPERATURA Y DE PH EN EL PROCESO DE CRIANZA DE ALEVINES DE PAICHE DE ETAPA 1

3.1 CRIANZA DE ALEVINOS DE PAICHE EN EL IIAP

En los capítulos anteriores ya se describieron las etapas de vida del paiche y se dijo que la etapa en la cual se basará esta tesis será en la primera fase del alevinaje, es decir, cuando el paiche mida entre 2 y 7 cm. El área de cultivo de alevinos de paiche de etapa 1 será en los laboratorios del IIAP en la Carretera Iquitos-Nauta, km 4.5, Quistococha, distrito de San Juan Bautista, Maynas, Loreto [8].

Cuando los alevinos de paiche miden entre 2 y 2.5 centímetros son extraídos de los estanques donde están al cuidado de sus padres, alimentándose principalmente de plancton (en forma de zooplancton) que se encuentra en el agua. Una vez extraídos, los peces pasan por un proceso de adaptación, que consiste en cambiar gradualmente la alimentación inicial que estaba basada en alimento vivo (zooplancton) a un alimento balanceado, para ello hay diferentes protocolos y técnicas descritas [8].

Una vez ya acondicionados los alevinos pueden pasar a unos tanques de fibra de vidrio en donde se quedarán hasta los 7 cm de longitud. Luego pasarán a unos tanques más grandes para su posterior crianza.

En el capítulo anterior se mostró en la tabla uno de los resultados obtenidos de un trabajo de investigación de la Facultad de Pesquería de la Universidad Nacional Agraria la Molina, el cual mostraba los valores ideales de temperatura y de pH para la crianza de alevinos de paiche. Sin embargo, en la práctica está demostrado que hay una mayor tolerancia de variación de estos parámetros.

Entonces, los rangos óptimos para la crianza de alevinos de paiche serán los siguientes:

- Temperatura: 27.5 – 30°C
- pH: 6.5 – 7.5

Un factor clave a considerar es que en la ciudad de Iquitos la temperatura a lo largo del año se mantiene normalmente entre 28 a 30°C en promedio, lo cual favorece la crianza de alevinos de paiche. Además, la crianza se realiza en laboratorios, los cuales son ambientes cerrados. No obstante, algunos días y en las noches sí puede bajar la temperatura por debajo de los 27°C [8].

Para la crianza de alevinos de paiche se utiliza agua de lluvia y escorrentía que es almacenada en tanques subterráneos. No es posible usar agua del río debido a que esta se encuentra lejos del área de cultivo (Carretera Iquitos Nauta); por otro lado, no existe agua potable. También se emplea el agua de los estanques de algunos piscicultores.

Se cuentan con dos cisternas de concreto de dimensiones de 20m x 15m x 2m que a través de unas tuberías reciben toda el agua de las lluvias desde los techos de la estación para ser almacenadas. Luego, mediante una bomba, el agua es elevada a un tanque en lo alto de 30 metros de altura para ser distribuida al sistema de agua de la estación por gravedad para su uso en los laboratorios y en toda la infraestructura de la estación (grifos y servicios básicos) [8].

La crianza de alevinos de paiche de etapa 1 se da en un laboratorio determinado dentro de la estación, actualmente este laboratorio cuenta con un grifo de donde obtienen agua de lluvia, la cual es utilizada para los recambios manuales de agua.

Para el diseño de la propuesta de solución de este trabajo de tesis, se usará un tanque de suministro de agua para el laboratorio (tanque A), varios tanques para la crianza de alevinos de paiche de etapa 1 (tanques B) y un tanque para las aguas residuales (tanque C). Todos los tanques serán de fibra de vidrio.

El tanque A será llenado a través de un grifo de agua de forma manual. Se sabe que en este laboratorio se crían unos 600-700 alevinos de paiche aproximadamente.

Como propuesta de solución se opta por emplear tanques B con las siguientes medidas: 40cm (largo) x 34cm (alto) x 25cm (profundidad), lo cual da una capacidad de 30 litros aproximadamente en donde se pueden criar de 100 a 120 alevinos de paiche. Entonces al usar 6 de estos tanques se consigue la capacidad actual de crianza de alevinos de 600-700 ejemplares.

Para dimensionar al tanque A se debe tener en cuenta que para una densidad de 3.5 a 4.5 de alevinos de paiche por litro se hace recambios de agua diarios equivalentes a la capacidad total del agua del tanque donde se encuentran. Como hay 6 tanques del tipo B, al día habrá 6×30 litros = 180 litros de recambio de agua, los cuales vendrán del tanque A. A este valor se le debe dar un 25% de margen de seguridad, es decir, 240 litros de capacidad. Ahora, se desea que al día solo se abra una vez el grifo para llenar este tanque, entonces la capacidad del tanque A deberá ser de 240 litros. Para ello se usará un tanque de dimensiones 65cm (largo) x 60 cm (alto) x 65 cm (profundidad), con lo cual se obtiene 253.5 litros de capacidad, un poco más de los 240 necesarios puesto que este tanque no estará lleno a su máxima capacidad para evitar posibles rebalses de agua.

Finalmente, el tanque C también tendrá las mismas dimensiones que el tanque A, para obtener diariamente unos 180 litros de agua residual, la cual puede ser usada para otros servicios.

3.2 SENSORES DE TEMPERATURA Y DE PH

3.2.1 Sensor de Temperatura

Se quiere un sensor de temperatura con una precisión suficiente para detectar cambios de temperatura fuera del rango $27.5 - 30^{\circ}\text{C}$. Un par de sensores adecuados para este caso son el LM35 y el DS18B20. Ambos ofrecen una precisión de 0.5°C .

Sin embargo, el sensor DS18B20 ofrece muchas ventajas respecto al LM35. La principal ventaja de este sensor es que es digital y ha sido diseñado para trabajar en aplicaciones bajo el agua. Al ser digital se ahorra el tiempo y dinero de diseñar un circuito de acondicionamiento de señal y además una

señal digital es más robusta frente al ruido. Esto es muy importante considerando el hecho de que la distancia desde el sensor hasta el tablero de control será de 1 metro aproximadamente. Por otro lado, al haber sido diseñado para trabajar bajo el agua, no es necesario comprar un encapsulado lo cual ahorra costos.

En el anexo 1 se pueden ver más detalles de la elección de este sensor.

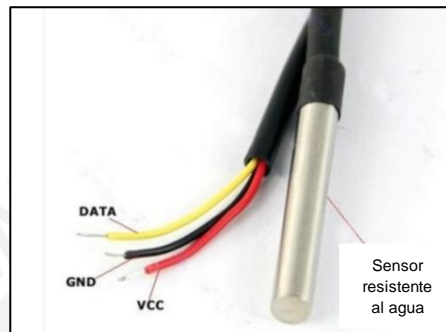


Figura 3. Sensor DS18B20 [19].

Como se puede ver en la figura 3 este sensor solo posee tres pines. Dos son para alimentación, Vcc y GND (ground), y el otro es para la data (salida digital). Además, posee un encapsulado en forma de tubo de acero inoxidable que lo hace resistente al agua.

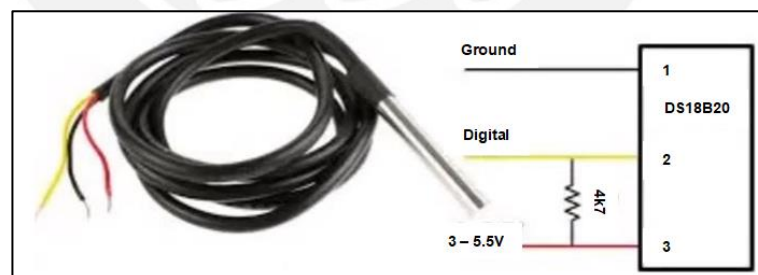


Figura 4. Diseño propuesto por el fabricante.

En la figura 4 se puede apreciar el circuito propuesto por el fabricante. Solo se deberá de añadir una resistencia pull-up entre la alimentación y la salida digital de 4.7K Ω para que este sensor funcione adecuadamente.

3.2.2 Sensor de pH

Para realizar la medición de pH, este trabajo contaba con dos opciones principales. La primera era comprar el kit de medición de pH completo y la segunda era comprar solo los electrodos de pH y construir el circuito.

Aunque la primera opción es más cara, termina siendo la mejor solución porque da una mayor fiabilidad al ya ser un producto comercial hecho por un fabricante conocido. La segunda opción, por otro lado, implicaría más componentes, más tiempo de diseño y pruebas, y no sería muy fiable.

En el anexo 1 se pueden ver más detalles sobre la elección del kit de medición de pH.

Este kit incluye un electrodo de pH, una tarjeta de acondicionamiento para el electrodo de pH y los cables de conexión.

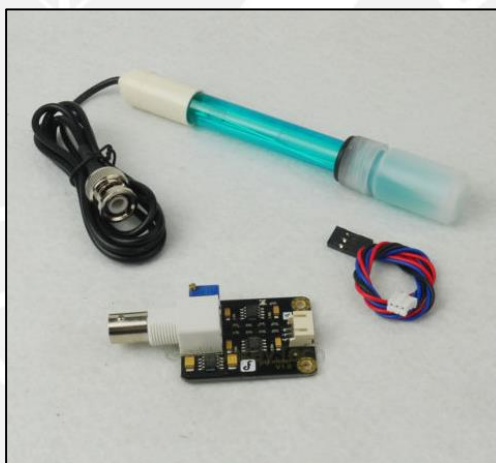


Figura 5. Kit de medición de pH [20].

Como se puede ver en la figura 5, este kit incluye al electrodo de pH, el cual tiene una salida a través de un conector BNC; una tarjeta para el electrodo, el cual se encargará de acondicionar el voltaje del electrodo para que pueda ser entendido por el controlador y los cables de conexión.

La conexión es muy sencilla, simplemente se deberá conectar la salida BNC del electrodo de pH a la tarjeta de acondicionamiento y luego de la tarjeta de acondicionamiento se conectará directamente a una entrada analógica del controlador a través de los cables flexibles que vienen con el kit.

Esta placa de acondicionamiento convierte el rango de voltaje de entrada que era de -200mV a +200mV, a uno de salida de 0 a 4 Volts, el cual ya puede ser procesado sin problemas por un controlador.

Este medidor de pH ha sido diseñado especialmente para aplicaciones de acuicultura, por lo que puede estar de forma indefinida sumergido en el agua. Este sensor, además, utilizará en total tres pines: Vcc, GND y un pin analógico el cual irá directamente a una entrada analógica del controlador.

3.3 ACTUADORES DEL SISTEMA

3.3.1 Calefactor

En este caso se opta por emplear un calentador para acuario. Si bien ya existen calentadores con termostato que funcionan de manera autónoma, para la presente propuesta de solución se decide emplear un calentador controlado por un circuito de control y potencia, puesto que de esta manera podemos integrar este componente al sistema global. Además que resulta ser más económico. En el Anexo 2 se puede ver un poco más sobre esta elección.

Para poder mantener la temperatura en el rango deseado (27.5 a 30°C) se empleará un simple calentador para acuario sumergible con alimentación de 220Vac de la red.

Este se activará cada vez que la temperatura sea menor a 27.5°C, y se apagará cuando esta supere los 29.5°C mediante un ciclo de histéresis. Esto con el fin de que la frecuencia de encendido/apagado no sea muy alta y así prolongar el tiempo de vida útil del actuador. Como ya se comentó, la temperatura en la ciudad de Iquitos es en promedio 28.5°C a lo largo del año. Sin embargo, hay algunos días en los que esta puede bajar a 24°C. Así como también en las noches la temperatura puede caer por debajo de 27°C. Entonces, en estos casos se activará el calefactor.

Además, Se sabe que se debe de usar un calefactor con potencia en watts numéricamente igual a la capacidad en litros del acuario. Como la capacidad del tanque de crianza de alevinos de paiche es de 28 litros

aproximadamente, entonces se puede emplear un calefactor de 25 W de potencia para elevar la temperatura como máximo cinco grados sobre la temperatura sensada [26].

Con respecto al límite superior de temperatura en la crianza de alevinos de paiche, estará determinado por la temperatura del medio ambiente. La temperatura en Iquitos puede llegar a ser de 34°C en el ambiente, siendo un poco menos dentro del laboratorio. Sin embargo, esto no representa ningún problema para los alevinos de paiche.

Para su accionamiento se empleará un circuito de control mediante las etapas de control y de potencia separadas por un optoaislador.

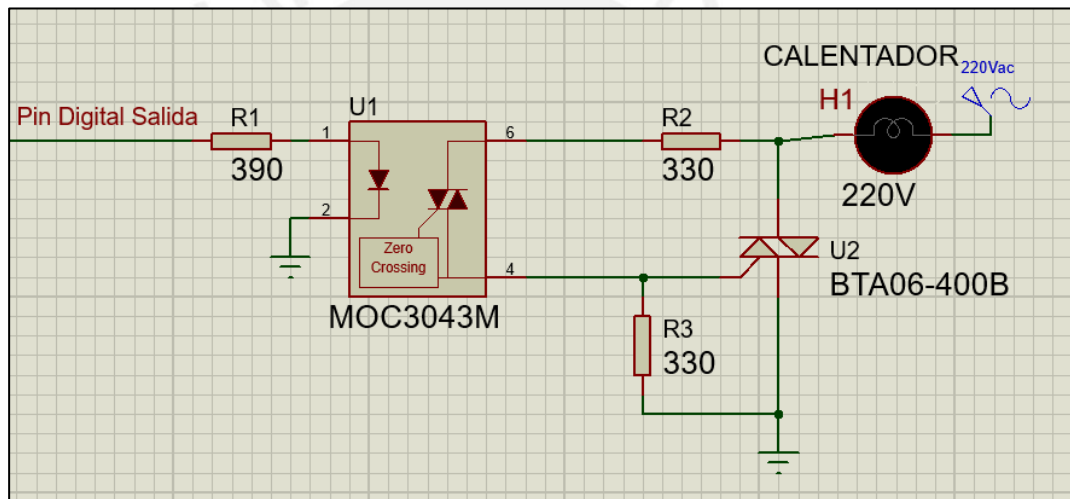


Figura 6. Etapas de control y de potencia para el accionamiento de un calentador (representado con H1 en la gráfica).

Elementos:

- U1: Optoaislador MOC3043, U2: TRIAC BTA06-400B.
- R1= 390 Ω , R2 = 330 Ω , R3 = 330 Ω .
- H1: Calefactor 25Watts para acuario.

Como se puede ver en la figura 6, se usa un optoaislador (MOC) para poder aislar las etapas de control y de potencia y de esta forma proteger al controlador ante cualquier eventualidad.

El MOC a emplear será el MOC 3043, debido a sus buenas características, entre las que destacan:

- Aislamiento óptico entre el controlador y el calentador.
- Posee un detector de cruce por cero, esto evita que hayan picos de voltaje al entrar en funcionamiento el calentador.
- Puede usarse con TRIACs y de esta forma tener un control preciso del encendido/apagado del calentador.
- Tiene un LED Trigger Current bajo, de tan solo 5mA.

Como el LED Trigger Current es de 5mA, entonces se necesita un $I_f \geq 5\text{mA}$. Se elige $I_f = 10\text{mA}$ para el circuito de control. Para esta corriente, de la hoja de datos se obtiene un $V_f = 1.16\text{V}$ en el LED. Con esto se determina el valor de R1 mediante la división $(5\text{V} - 1.16\text{V})/10\text{mA}$, lo cual da 384Ω . Entonces se elige un valor comercial de resistencia cercano a 384Ω ; es decir, $R1 = 390\Omega$.

Las resistencias R2 y R3 iguales a 330Ω se escogieron en base a la recomendación del fabricante según la hoja de datos.

Para el TRIAC se empleará el modelo BTA06, el cual tiene una capacidad de hasta 6 amperios de corriente, más que suficiente para nuestro caso. Para un calefactor de 25W y 220Vac la corriente es aproximadamente 0.12 amperios.

Ahora se determina si es necesario usar un disipador. Según la hoja de datos del TRIAC BTA06-400B, la temperatura de juntura tiene un valor máximo absoluto de 150°C . Se toma un valor menor por motivos de seguridad, de 75°C . Considerando un día de verano en la ciudad de Iquitos, una temperatura de 35°C , entonces la diferencia de ambas temperaturas será de 40 grados. De la hoja de datos también se obtiene la resistencia térmica de juntura-ambiente, la cual es igual a 60°C/W . Por lo tanto se puede hallar la máxima potencia que puede disipar el TRIAC sin necesidad de un disipador, $40^\circ\text{C} \times (1\text{W}/60^\circ\text{C}) = 0.67\text{W}$. De la hoja de datos, se sabe que para una corriente de 0.12A, el TRIAC disipa aproximadamente 0.2W de potencia, lo cual es menor al umbral inferior 0.67W. De aquí se concluye que no es necesario emplear un disipador.

De este modo, cuando la salida del controlador (Pin Digital Salida en la figura 6) de un '1' lógico, el LED dentro del MOC se encenderá y esto hará

que el opto transistor del MOC se sature, lo cual proporcionará una corriente muy pequeña al gate del TRIAC, de esta forma activándolo y cerrando el circuito de alimentación del calentador. Este se mantendrá encendido hasta que el controlador entregue un '0' lógico y lo apague.

Recordar que las dos tierras de la figura 6 no son las mismas, la de la izquierda es la tierra de control, la cual corresponde a la tierra de la fuente de 5Vdc, mientras que la de la derecha es la tierra de potencia, la cual corresponde a la de la red de 220Vac.

3.3.2 Válvulas Solenoides

Como se mencionó en el ítem 3.1, para la crianza de alevines de paiche se usarán tanques de fibra de vidrio de 40cm (largo) x 34cm (alto) x 25cm (profundidad) de dimensiones (tanque B).

Para realizar el control de pH se emplearán válvulas solenoides. Se contaban con dos opciones: la primera, un sistema de circulación de agua y la segunda, un sistema de añadidura de sustancias ácidas/bases.

Se escoge la primera opción, un sistema de circulación de agua mediante válvulas solenoides y sensores de nivel, ya que posee las siguientes ventajas:

- Se aprovecha el hecho de que el agua de lluvia tiene el pH adecuado para la crianza de alevines de paiche (pH neutro), puesto que esta es la misma a la de su hábitat natural.
- Adicionalmente, se consigue hacer cambios de agua constantes para desechar el agua sucia y añadir agua limpia, es decir, contribuye con la higiene constante del ambiente acuático.

Con esto ya no es necesario tener sustancias químicas adicionales para subir o bajar el nivel de pH, puesto que es la misma agua de lluvia la que controlará dicho parámetro.

Ahora, para poder realizar estos cambios de agua se deberá contar con unas válvulas y tuberías que conecten al tanque principal (tanque A) con los tanques de crianza de alevinos de paiche (tanques B) y con el tanque C.

Se podrían emplear válvulas mecánicas para que las personas manualmente las abran o cierren de acuerdo al valor de pH. Sin embargo, la idea es que todo el sistema esté automatizado para ahorrar los recursos humanos. Recordar que uno de los principales problemas en la crianza de alevinos de paiche es la falta de personal. En ese sentido, se opta por usar válvulas solenoides, las cuales constan de una bobina que al ser energizada abrirá (NC) o cerrará (NA) la válvula.

Lo que se busca es que tanto el caudal de entrada como el de salida al tanque B no sean tan altos para que el sensor de pH pueda detectar los cambios que se den durante el recambio de agua. Para ello se hace uso de la siguiente fórmula (ver fórmula 1):

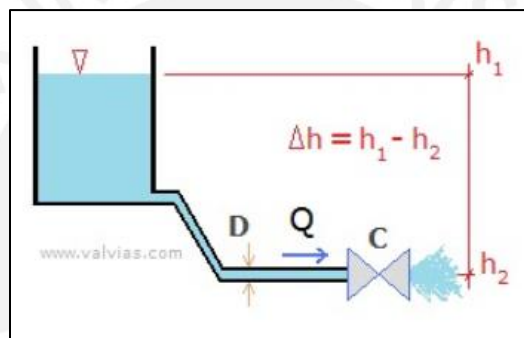


Figura 7. Relación entre el caudal, la velocidad y el área de un fluido [21].

$$Q = C \cdot \sqrt{2g\Delta h} \cdot D^2 \frac{\pi}{4} \dots\dots(\text{Fórmula 1})$$

Q: Caudal en m³/s

Δh: Diferencia de altura

D: Diámetro de tubería

C: Coeficiente de descarga

g: gravedad

La constante C (coeficiente de descarga o coeficiente de gasto) es hallada de manera experimental, en este caso se tomaron resultados de un estudio de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería [17].

$$Q = C_d \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2gy_1} \quad \dots\dots(\text{Fórmula 2})$$

C_d : Coeficiente de descarga (Coeficiente de gasto)

b : ancho de compuerta

a : abertura de compuerta

y_1 : profundidad del flujo aguas arriba de la compuerta

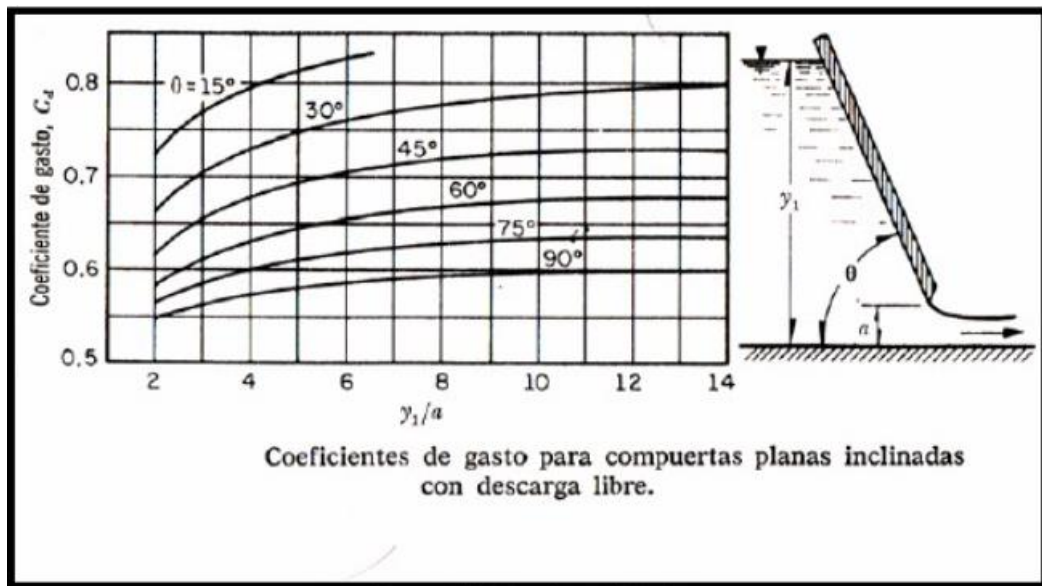


Figura 8. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería [17]

En nuestro caso el ángulo θ sería de 90 grados y el término y_1/a dependerá del tanque. Por ejemplo, para una tubería de $\frac{1}{4}$ " (0.8cm) y para una altura de 60cm (tanque A), se obtiene una relación y_1/a de 75, y para una tubería de $\frac{1}{4}$ " y una altura de 30cm (tanque B) se obtiene una relación y_1/a de 37. Para ambos casos según la figura 8 se considera un coeficiente de descarga de 0.6 como una buena aproximación.

Como se puede ver, la fórmula 2 obtenida de los apuntes de clase de Mecánica de Fluidos 1 de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería [17] es la misma que la fórmula 1, pero con otras variables. En la fórmula 1 se considera una sección circular de salida del agua, mientras que en la fórmula 2 se considera una cuadrada.

El caudal de entrada al tanque B se puede calcular fácilmente usando la fórmula 1 y considerando una altura de 60cm del tanque principal de agua (tanque A), la gravedad es $9,8\text{m/s}^2$ y el diámetro es el correspondiente a $\frac{1}{4}$ " , 0.8cm, obteniendo $Q_1 = 6.2$ litros/minuto.

Por otro lado, el caudal de salida del tanque B se calcula de la misma forma, la única diferencia es la altura, que ahora es de 30cm, obteniendo 4.39 litros/minuto.

Como se puede ver, estos valores de caudal son adecuados para un tanque de crianza de alevinos de 28 litros de capacidad como el presente caso, puesto que no se llenará ni vaciará muy rápido ni muy lento asegurando un correcto funcionamiento de los sensores.

El caudal de salida del tanque B es de 4.39 litros/minuto. Una válvula de $\frac{1}{4}$ " tiene un diámetro de 0.8cm, este tanque contendrá alevinos de paiche que van desde 2.5cm hasta 7cm aproximadamente. Entonces existe la posibilidad de que un alevino de paiche de 2.5cm de largo y 0.8cm de ancho pueda atravesar la tubería. Para prevenir esto se colocará una pequeña malla en el diámetro de salida. Esto aproximadamente reducirá el área en un 30%, lo cual reducirá el caudal en esa misma cantidad, obteniendo un caudal de salida efectivo de alrededor de $Q_2 = 3$ litros/minuto.

Es coherente que Q_1 sea mayor a Q_2 , puesto que hay una mayor presión del tanque A al B que del B al C, debido a la diferencia de alturas.

A continuación se muestra la válvula a emplear en el presente trabajo de tesis:



Figura 9. Válvula solenoide $\frac{1}{4}$ " de marca WIC Valve [23].

Se usarán dos de estas válvulas, para regular la entrada y la salida de agua del tanque B. Entre sus principales características, tenemos las siguientes:

- 12 Volts DC de alimentacion.
- 540mA de consumo de corriente.
- 1/4" de diámetro.
- Normalmente cerrada.
- Tiempo de respuesta menor a 20ms.
- Material: acero inoxidable.
- Ideal para control on/off.

Para poder controlar el accionamiento de las válvulas, se empleará el siguiente circuito:

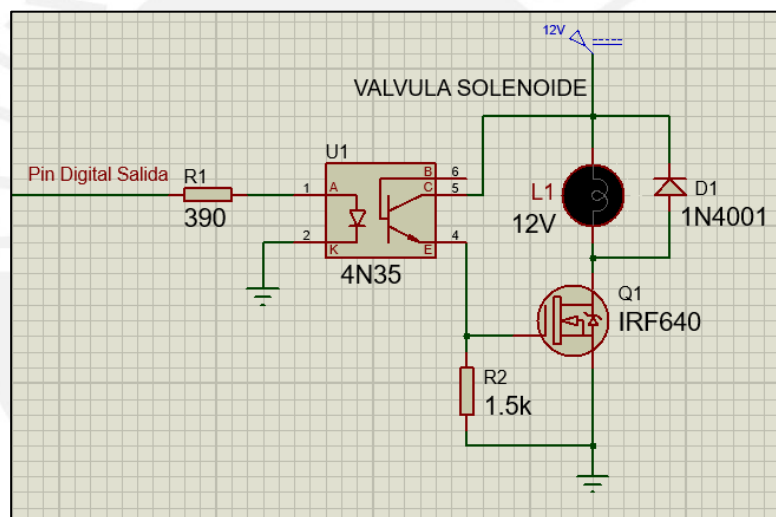


Figura 10. Circuito para accionar las válvulas.

Elementos:

- U1: Optoacoplador 4N35, Q1: MOSFET de potencia IRF640
- R1= 390Ω, R2 = 1.5KΩ
- D1: 1N4001, L1: Bobina 12Vdc de la válvula solenoide

Para calcular los valores de los componentes, en primer lugar se definió una corriente I_f igual a 10mA en la etapa de control, a esta corriente le corresponde un V_f de 1.12V en el LED según la hoja de datos. Con esto se determina el valor de R1 mediante la división $(5V-1.12V)/10mA$, la cual da 388 Ω. Se escoge 390Ω, ya que este es un valor comercial. Al encenderse el

LED, el optotransistor se satura y se obtiene un V_{ce} igual a 0.4V. Por otro lado, el $CTR = I_c/I_f$ en saturación es igual a 75%, esto significa que para un I_f de 10mA, se obtiene un I_c de 7.5mA según la hoja de datos. Con esto se calcula R2 mediante la división $(12V-0.4V)/7.5mA$, lo cual da 1.5K Ω (valor comercial). Adicionalmente, se usará el diodo D1 para proteger al MOSFET puesto que la bobina de la válvula solenoide es una carga inductiva. Cuando el MOSFET se desactiva, la bobina habrá almacenado energía en forma de campo magnético y generará el voltaje necesario para continuar con el flujo de corriente en el circuito. Por ello se usa D1, para que la corriente se descargue a través de D1 y no a través del MOSFET.

De la hoja de datos del MOSFET IRF640 se obtiene la resistencia térmica de juntura-ambiente, la cual es igual a 62°C/W. La temperatura de juntura según la hoja de datos tiene un valor máximo de 150°C; sin embargo, por motivos de seguridad se tomará 75°C. Considerando un día de verano, la temperatura ambiente puede llegar a 35°C, entonces tenemos una variación de temperatura de 40°C, por lo que la máxima potencia que puede soportar el MOSFET sin un disipador será $40^\circ C \times (1W/62^\circ C) = 0.65W$. Por otro lado, la corriente I_D a través del MOSFET será de 540mA (igual que en la válvula) y se sabe de la hoja de datos que la $R_{DS(on)}$ es igual a 0.18 Ω . Por lo tanto la potencia disipada será $(0.54)^2 \times (0.18)$, igual a 0.05W. Este valor es mucho menor a 0.65W por lo que no es necesario emplear un disipador.

Resumiendo, el funcionamiento del circuito de la figura 10 es el siguiente: cuando el controlador envíe un '1' lógico en una salida digital (Pin Digital Salida en la figura 10), el LED dentro del 4N35 se encenderá y esto hará que el opto transistor se sature con un V_{ce} igual a 0.4V, lo cual dará un V_{GS} igual a 11.6V del MOSFET. Por otro lado, con una corriente $I_D = 540mA$ se obtiene un $V_{DS} = 0.07V$ según la hoja de datos. Con estos valores se valida que $V_{GS} > V_{GS(th)} = 3V$ y que $V_{DS} < V_{GS} - V_{GS(th)} = 8.6V$; es decir, el MOSFET se encuentra en región óhmica y la bobina es energizada con 11.93V, con lo cual se abrirá la válvula NC y dejará pasar el agua.

Por otro lado, cuando el controlador envíe un '0' lógico, $V_{GS} = 0V < V_{GS(th)}$ y el MOSFET se encontrará en la región de corte. V_{DS} será igual a 12V, I_D será

igual a 0mA y $V_{ce} = 12V$. Se desenergizará a la válvula y se mantendrá cerrada.

3.4 SENSORES DE NIVEL DEL TANQUE

Para poder realizar cambios de agua a lo largo del día, será necesario contar con un sistema de sensores de nivel además de las válvulas solenoides. Estos sensores de nivel también funcionan como un sistema de seguridad ante un posible rebalse o escasez de agua en el tanque B de crianza de alevinos de paiche.

Para realizar la medición del nivel del tanque se contaban con tres opciones: un sensor de agua analógico, sensores de nivel tipo interruptor flotador y un sensor ultrasónico. El problema del sensor de agua analógico y del ultrasónico es que son dispositivos muy frágiles al estar expuestos al medio ambiente, una salpicada de agua podría dañarlos y hacer que el sistema deje de funcionar correctamente. Por este motivo, se decide emplear sensores de nivel tipo interruptor flotador. En primer lugar, estos pueden estar en contacto con el agua todo el tiempo y expuestos al entorno sin ningún problema. Adicionalmente, ofrecen un sensado sencillo mediante la lectura del estado de un interruptor (abierto o cerrado).

En el Anexo 3 se puede encontrar más información sobre la elección de esta alternativa de solución.

Para tener una mejor idea de su ubicación y uso se presentan los siguientes esquemas (ver Figura 11 y 12):

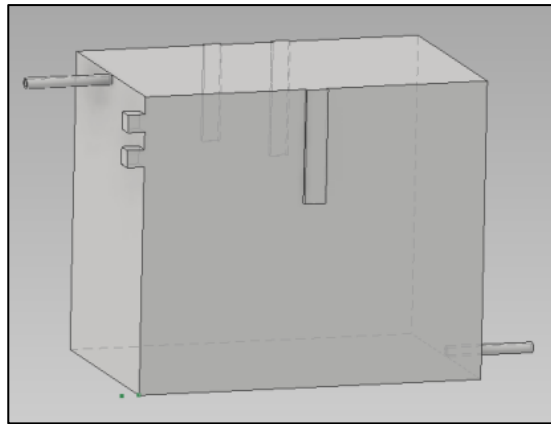


Figura 11. Vista Sólida.

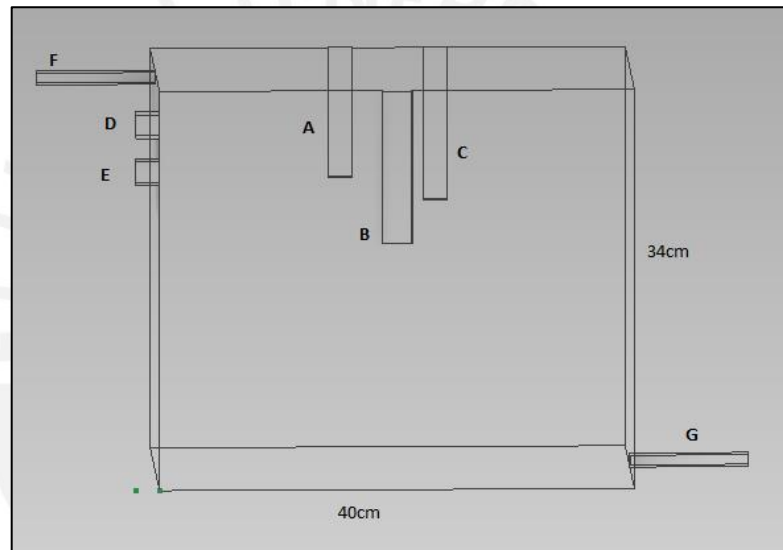


Figura 12. Vista Transparente.

En las figuras 11 y 12 se puede apreciar al tanque B (tanque de crianza de alevinos). De la figura 12 se pueden ver los siguientes componentes:

- A: Sensor de temperatura DS18B20.
- B: Calefactor para acuario.
- C: Sensor de pH.
- D: Sensor de nivel superior ubicado a 30cm de altura.
- E: Sensor de nivel inferior ubicado a 26cm de altura.
- F: Tubería que conecta al tanque A con el tanque B. Aquí se encontrará la válvula solenoide superior de $\frac{1}{4}$ ".

- G: Tubería que conecta al tanque B con el tanque C. Aquí se encontrará la válvula solenoide inferior de ¼”.

Este tanque tiene unas dimensiones de 40cm (largo) x 34cm (alto) x 25cm (profundidad), lo cual da una capacidad máxima de 34 litros. Sin embargo, el nivel máximo de agua estará determinado por el sensor de nivel superior (D en la figura 12) para tener un margen de 4cm de prevención ante un posible rebalse de agua. En general, el nivel del agua variará entre D y E; es decir, entre 30 cm y 26cm de altura. Entonces, cuando el nivel del agua se encuentre en D, la capacidad será de 30 litros y cuando el nivel se encuentre en E (sensor de nivel inferior), la capacidad será de 26 litros. En otras palabras, los recambios de agua se harán en bloques de 4 litros.

A continuación se detalla el funcionamiento del sistema: suponer que inicialmente el nivel del agua se encuentra en un nivel intermedio, 28 cm (entre 26 y 30cm). Entonces cuando el sensor de pH detecte un valor fuera del rango óptimo (menor a 6.5 o mayor a 7.5), se ejecutará el algoritmo de cambio de agua. Para ello se activa la válvula superior y entonces el agua empieza a entrar al tanque B hasta que el sensor de nivel superior detecte que el agua ha llegado al valor tope superior, cuando esto suceda el controlador apagará la válvula superior y encenderá la válvula inferior, para que ahora se proceda con el vaciado del agua del tanque. El agua saldrá del tanque B hacia el tanque C hasta que el sensor de nivel inferior del tanque detecte que se ha llegado al valor tope inferior. Una vez que ocurra esto, el controlador apagará la válvula inferior y encenderá la superior para que nuevamente el tanque empiece a llenarse hasta que el nivel del agua alcance el valor tope superior determinado por el sensor de nivel superior y así sucesivamente hasta que el sensor de pH detecte que el valor de pH del agua se encuentra dentro del rango óptimo y entonces el controlador apagará el algoritmo de cambio de agua. De esta manera se consigue un recambio de agua automático.

Como ya se mencionó, el sensor de nivel superior (D) se encuentra a 30 cm de altura y el inferior (E) a 26cm. Entonces el volumen de agua a la altura D será de 40cm x 30cm x 25cm igual a 30 litros, mientras que el volumen al

nivel E será de 40cm x 26cm x 25cm, que es igual a 26 litros; esto da 4 litros de diferencia. Como ya conocemos los caudales de entrada y de salida del tanque B, podemos determinar los tiempos de llenado/vaciado de estos 4 litros durante el cambio de agua. Para el caso del caudal de entrada, $Q_1 = 6.2$ litros/minuto se obtiene un tiempo de 40 segundos para llenar 4 litros. Mientras que para el caso del caudal de salida, $Q_2 = 3$ litros/minuto se determina que se necesitan 1 minuto y 20 segundos aproximadamente para vaciar esos 4 litros. Juntando ambos resultados se concluye que el recambio de 4 litros de agua del tanque B demora aproximadamente unos 2 minutos, el cual es suficiente para que el sensor de pH pueda detectar un cambio, puesto que nuestro sensor de pH tiene un tiempo de respuesta ≤ 1 min.

A continuación se presentan a los sensores de nivel a utilizar y su respectivo circuito:



Figura 13. Sensor de nivel tipo interruptor flotador [24].

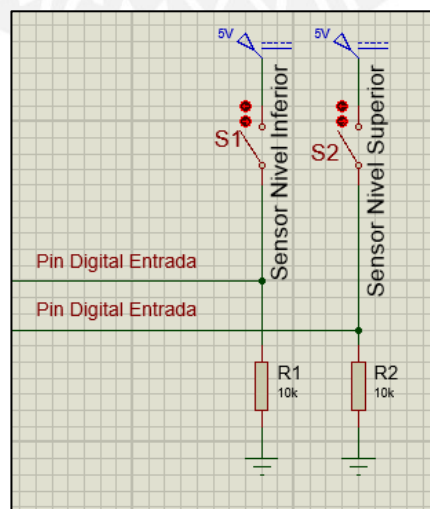


Figura 14. Circuito para sensar el estado del interruptor de nivel.

El circuito de estos sensores es como el de un interruptor común:

- S1, S2: Sensores de nivel tipo interruptor flotador.
- $R1 = R2 = 10K\Omega$

Cuando el nivel del agua llegue al de los sensores de nivel, estos se cerrarán enviando un '1' lógico al controlador, caso contrario el controlador leerá un '0' lógico. Al usar unas resistencias $R1 = R2 = 10K\Omega$ de pull-down se obtiene una corriente de 0.5mA en cada sensor, la cual se proporciona por la fuente de 5Vdc del sistema. Por otro lado, se trabajará en condiciones de presión 0.1MPa (presión atmosférica) y temperaturas dentro del rango de operación del sensor por lo que su uso es adecuado para esta aplicación.

3.5 INDICADORES LUMINOSOS

Se emplearán indicadores luminosos para poder visualizar el estado de la temperatura y del pH del tanque de alevines de paiche.

No se pueden emplear LEDs ya que su reducido tamaño y baja intensidad luminosa dificultarían el seguimiento del estado de los parámetros del agua. Por ello, se decide emplear unas lámparas eléctricas LED de colores, las cuales son mucho más robustas que los LEDs. Esto es muy importante en sistemas de control como en el presente caso.

En ese sentido, una lámpara de color rojo se encenderá cuando la temperatura esté fuera del rango óptimo, es decir, cuando la temperatura sea menor a 27.5°C. Adicionalmente, una lámpara azul se encenderá cuando el valor de pH esté fuera del rango adecuado, esto es cuando sea menor a 6.5 o cuando sea mayor a 7.5.

Esto facilitará la inspección y mantenimiento del sistema, puesto que cuando una lámpara esté encendida significará que un actuador está funcionando.

Las lámparas LED a emplear serán de color rojo y azul de 220Vac y 4W de potencia. Para poder conectarlas al controlador será necesario emplear un relé, el cual hace la conexión entre el circuito de control y el circuito de potencia. Se podría armar el circuito de control/potencia con resistencias,

transistores y diodos; sin embargo, existe en el mercado el Módulo Relé que ya tiene todos esos componentes dentro. Por ello, se decide usar un Módulo Relé de 5V (110/220Vac) y 10A que es compatible con distintos controladores y especial para proyectos de automatización. Como se necesitan 2 de estos módulos (2 lámparas), se opta por un Módulo Relay de 2 canales [27].

En la figura 15 se muestra cómo se conectará cada Módulo Relé de este módulo de 2 canales:

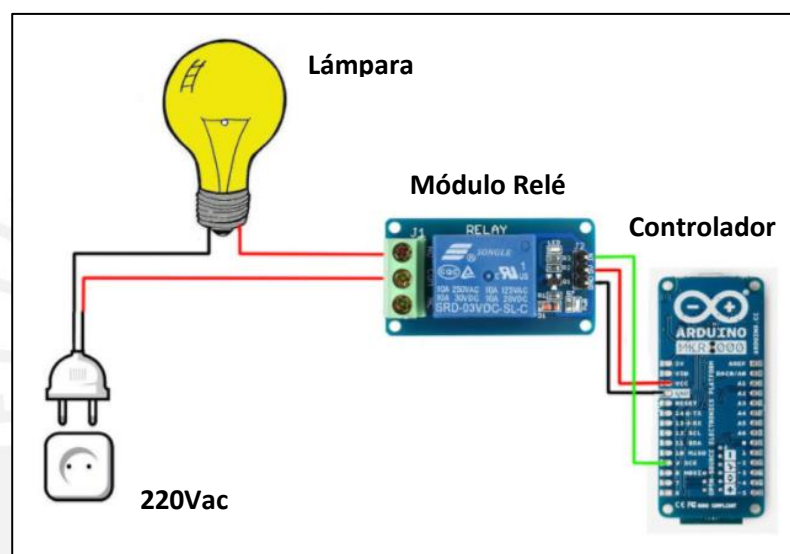


Figura 15. Diagrama de conexiones del Módulo Relé [27].

Como se puede ver en la figura 15, la conexión es directa. El Módulo Relé por un lado se conecta al controlador a través de 3 pines: Vcc (rojo en la imagen), GND (negro en la imagen) y el pin digital (verde en la imagen); y por otro se conecta a la lámpara a través de tres posibles pines: común, normalmente abierto (NO) y normalmente cerrado (NC), solo se escogerán 2 de estos 3 pines dependiendo de si se desea trabajar en NO o NC.

Características:

- Voltaje de operación: 5V DC
- Señal de control: TTL (3.3V o 5V)
- Numero de relays (canales): 2 CH
- Modelo Relay: SRD-05VDC-SL-C

- Capacidad máxima: 10A/250VAC, 10A/30VDC
- Corriente máxima: 10A (NO), 5A (NC)

Para el presente trabajo se usará el modo de funcionamiento normalmente abierto, por lo que el estado inicial de cada lámpara LED será apagado y para que alguna sea encendida el controlador deberá enviar un '1' lógico al pin digital de salida asociado a dicha lámpara. Una vez encendida, se mantendrá en ese estado hasta que la salida digital pase a '0', lo cual hará que la lámpara se apague.

3.6 CONTROLADOR

Para usar como controlador se contaban con dos opciones: un Arduino Nano o usar un microcontrolador ATmega 328. Ambos cumplen el requerimiento principal que es el número de pines, 8 digitales y 1 analógico.

Para la presente tesis se empleará un controlador Arduino Nano V3.0, el cual está basado en el microcontrolador Atmega 328. Si bien es cierto, el atmega 328 es más económico por sí solo, pero de querer usarlo se debería comprar además su cable, tarjeta de programación y otros componentes adicionales. Además, el Arduino ofrece las siguientes ventajas:

- Interfaz de programación sencilla.
- Acceso directo a las librerías a utilizar para los sensores.
- Precio cómodo en el mercado nacional.

Para aplicaciones de acuicultura donde la variación de las variables a través del día es lenta y no se manejan datos con gran precisión, las características de frecuencia y memoria del controlador son irrelevantes.

Con un arduino nano v3.0 basada en un microcontrolador atmega 328 se consigue cubrir los requerimientos sin ningún problema. A continuación se detallan sus principales características:

- Numero de pines analógicos: 8.
- Numero de pines digitales: 14.
- Memoria Flash: ATmega, 32KB.

- Velocidad del reloj: 16MHz.
- Voltaje alimentación: 7-12 Volts.

En la figura 16 se puede apreciar el diagrama de bloques.

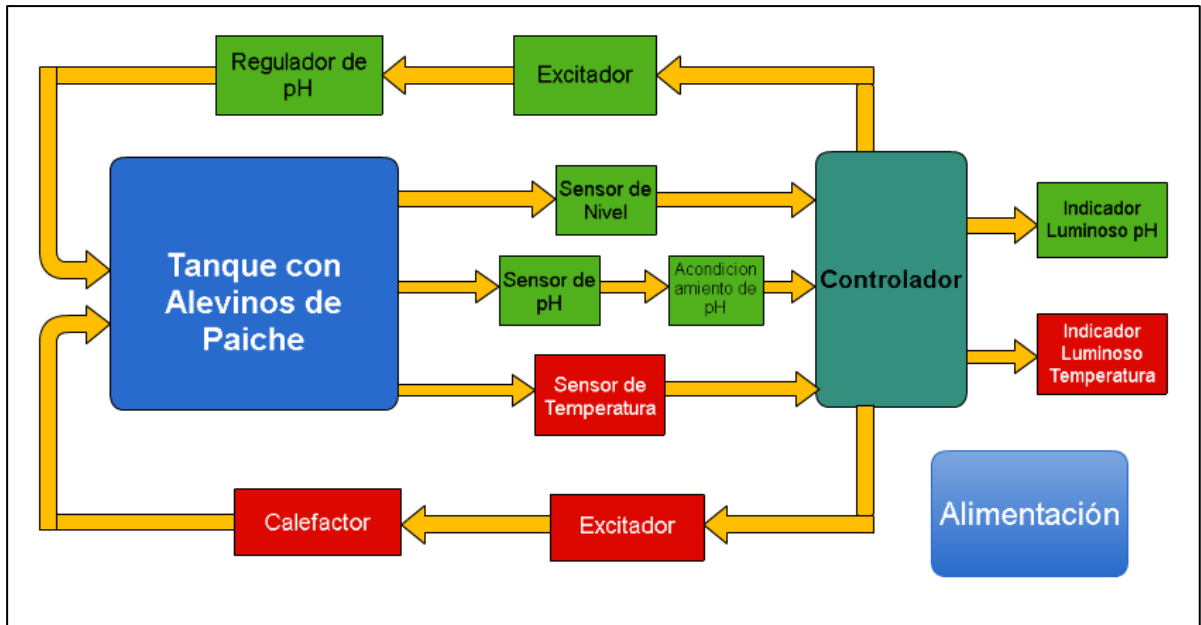


Figura 16. Diagrama de bloques de la solución final.

Como se ha podido ver, el modelo de planta a utilizar en el presente objeto de estudio será el de sensor, controlador y actuador, y el algoritmo de control a emplear será el on/off, puesto que este es un algoritmo sencillo y preciso para el caso de variables con tiempo de respuesta lento, como la temperatura y el pH. Su variación a lo largo del día es lenta y por lo tanto un control todo/nada es adecuado. Además, este algoritmo de control es apropiado para válvulas solenoides como las que se emplean en la presente solución.

Como ya se mencionó, se usarán ciclos de histéresis para los actuadores de temperatura y de pH.

Por ejemplo para el caso de control de temperatura, se sabe que el calefactor se encenderá cuando la temperatura baje por 27.5°C ; sin embargo, para que el calefactor se apague el valor de temperatura ya no bastará con superar los 27.5°C , ahora deberá alcanzar los 29.5°C . Esto con

el fin de evitar una frecuencia muy alta de encendido/apagado y así prolongar la vida útil del calefactor.

Para saber más detalles sobre el funcionamiento, consultar el anexo 4.

Para tener una mejor idea de la lógica de solución se presenta el diagrama de flujo en las figuras 17, 18, 19, 20 y 21. Como se puede ver este tiene la gran ventaja de ser secuencial, es decir, la función loop() se ejecutará de forma indefinida mientras el circuito esté energizado.

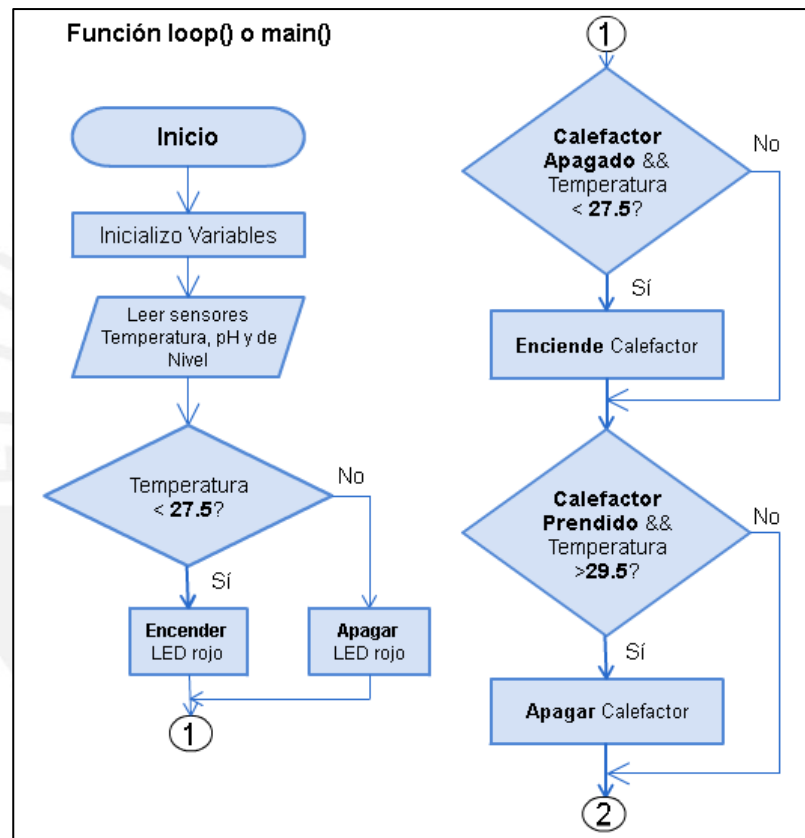


Figura 17. Diagrama de Flujo de la función principal - parte 1.

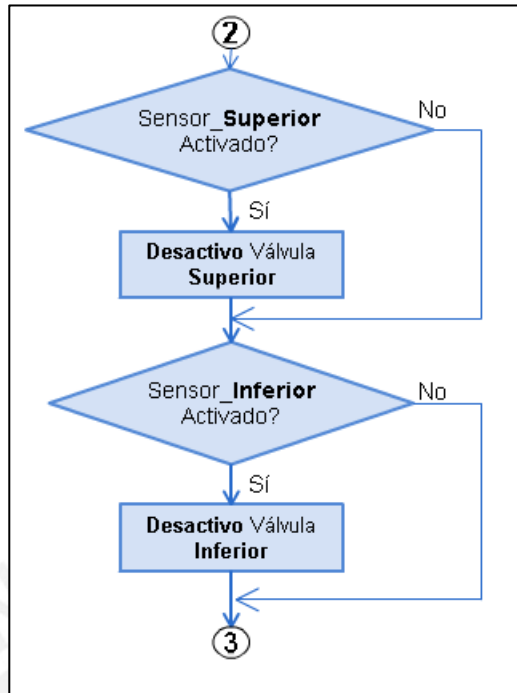


Figura 18. Diagrama de Flujo de la función principal - parte 2.

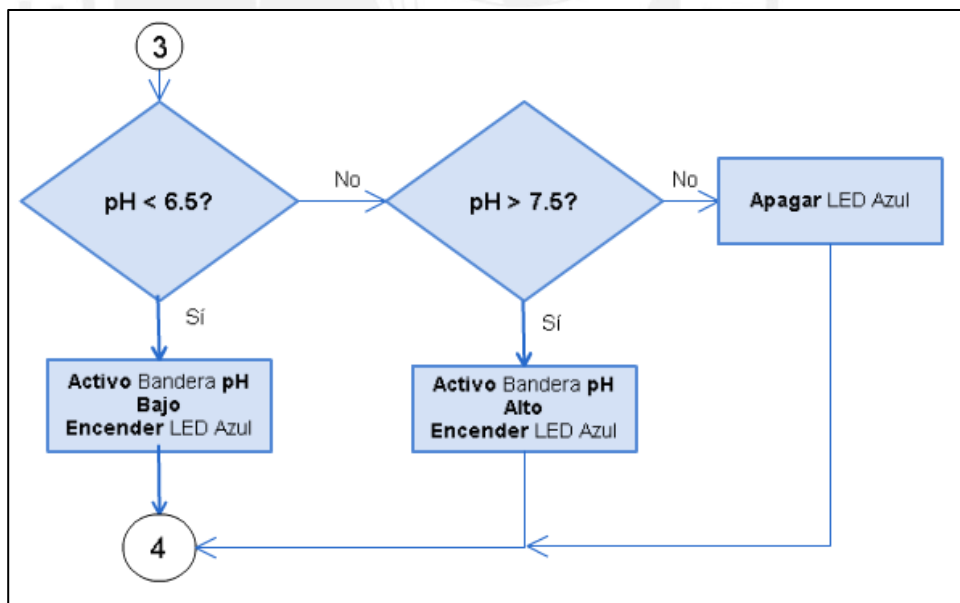


Figura 19. Diagrama de Flujo de la función principal - parte 3.

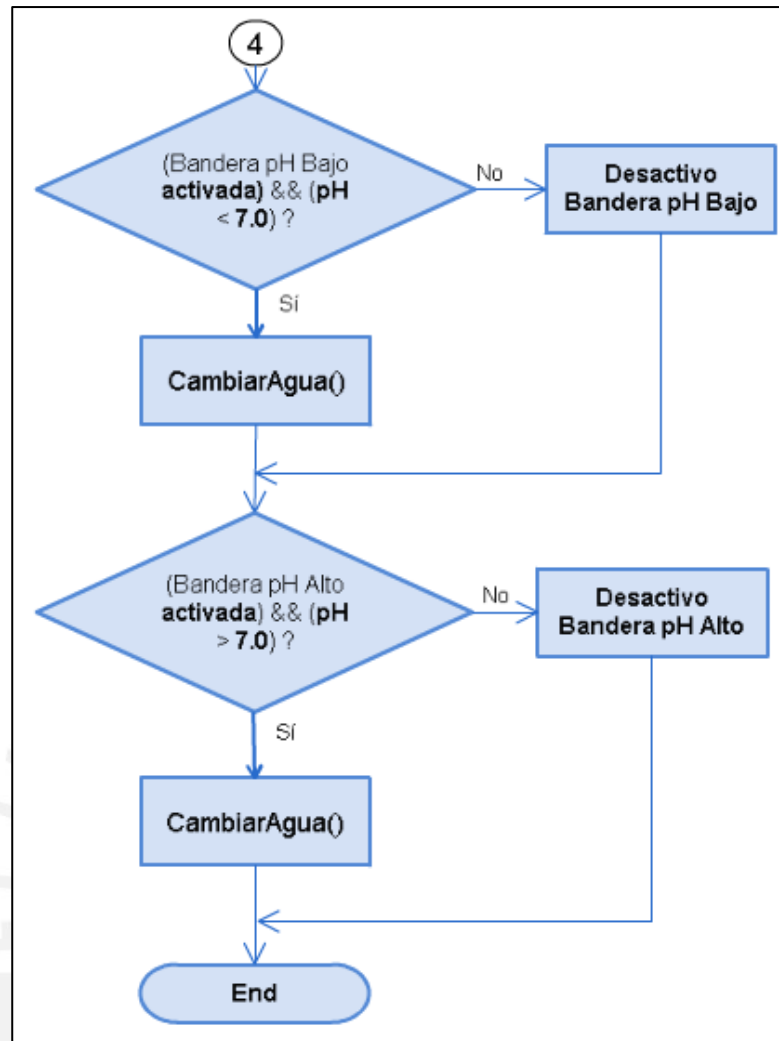


Figura 20. Diagrama de Flujo de la función principal - parte 4.

Función CambiarAgua()

En la función CambiarAgua() se debe tener en cuenta que hay dos posibles estados, llenando tanque o vaciando tanque. Esto se determinara mediante unas banderas flag_up o flag_down. Se ha tomado como condición inicial llenando tanque. Ver diagrama de flujo en la Figura 21.

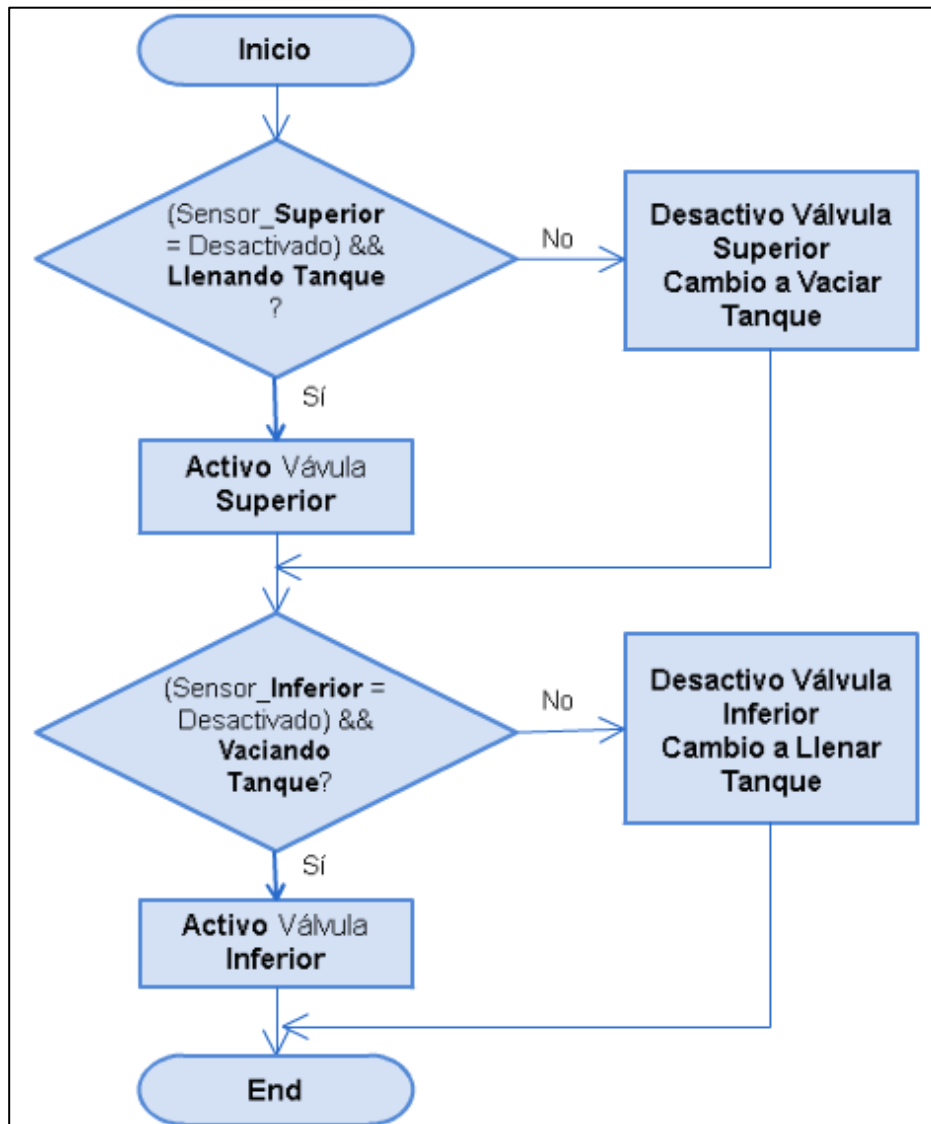


Figura 21. Diagrama de Flujo de la función Cambiar Agua.

Se adjunta en el anexo 7 el código de programación empleado en Arduino para un mejor entendimiento de la propuesta de solución.

3.7 ALIMENTACIÓN

Finalmente, para poder alimentar al sistema se deberá tener en cuenta las corrientes y voltajes de todos los componentes.

Como principal requerimiento está el hecho de que se necesitan 12Vdc y 5Vdc, así como acceso a 220Vac para el calentador y las lámparas LED.

A modo de resumen, se muestra a continuación una tabla de voltajes y corrientes:

Tabla 3. Corriente y voltaje consumido por todos los elementos.

Componentes	Voltaje	Corriente
Válvula 1/4"	12Vdc	540mA
Válvula 1/4"	12Vdc	540mA
Arduino	12Vdc	40mA
Sensor de Temperatura	5Vdc	1.5mA
Sensor de pH	5Vdc	10mA
Sensores de Nivel	5Vdc	1mA
Módulo Relay de 2 canales	5Vdc	40mA
Calentador Sumergible	220Vac	120mA
Indicadores Luminosos	220Vac	36mA

Se necesitan aproximadamente 12V@1120mA y 5V@55mA. Para cubrir con estos requerimientos se empleará una fuente switching de 12V@2A (ver figura 22). Con estos 12V se podrá alimentar a las válvulas y al Arduino. Luego mediante un regulador de voltaje LM7805 se pasará a obtener 5V para alimentar al resto de componentes.

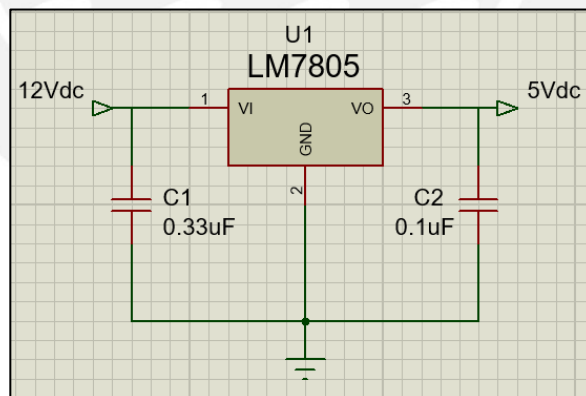


Figura 22. Circuito regulador de voltaje.

Componentes:

- U1: Regulador Voltaje LM7805
- C1 = 0.33uF, C2 = 0.1uF

Los valores de los capacitores C1 y C2 se escogieron según la recomendación del fabricante en la hoja de datos del regulador LM7805.

Finalmente, de la hoja de datos del LM7805 se obtiene la resistencia térmica de juntura-ambiente, la cual es igual a $65^{\circ}\text{C}/\text{W}$ y la temperatura de juntura máxima de 125°C . Se toma una $T_j = 85^{\circ}\text{C}$ (menor a la máxima) y considerando un día de verano, una $T_a = 35^{\circ}\text{C}$. Entonces con esta variación de 50°C se halla que la máxima potencia que puede disipar el regulador de voltaje sin necesidad de un disipador es $50^{\circ}\text{C} \times (1\text{W}/65^{\circ}\text{C}) = 0.77\text{W}$. La caída de tensión en el regulador es igual a $(12\text{V}-5\text{V}) = 7\text{V}$ y la corriente es la suma de las corrientes de los componentes que usan 5V; es decir, 55mA aproximadamente. Entonces la potencia disipada será 0.385W, la cual es menor al valor máximo 0.77W, por lo que no será necesario emplear un disipador.

Recordar que la fuente switching debe ser conectada a la red de 220Vac, al igual que el calefactor y las lámparas LED. Los 12Vdc de la figura 22 son obtenidos directamente de la fuente switching.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 23 se muestra el diagrama esquemático normalizado (en los anexos se adjunta en tamaño completo):

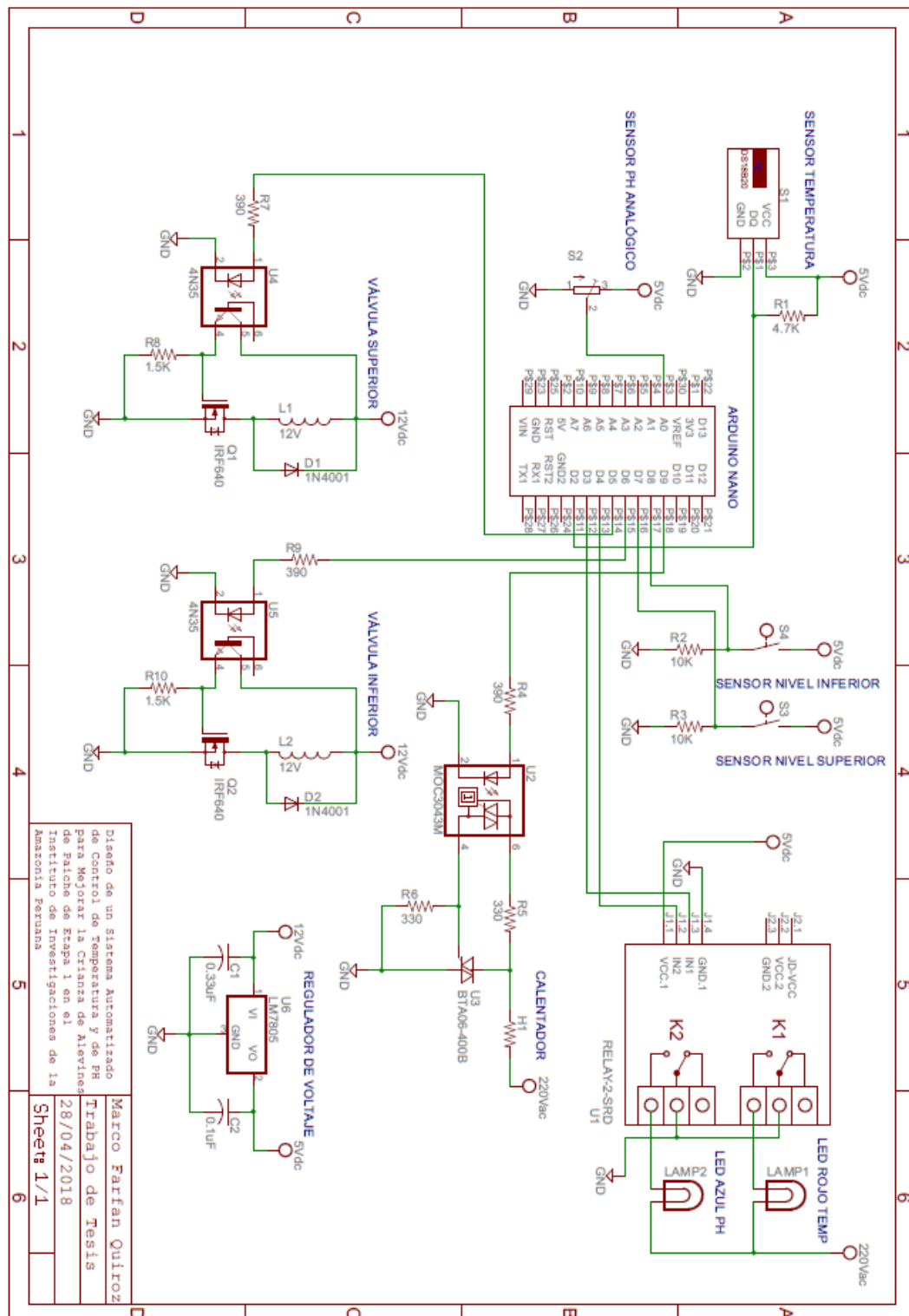


Figura 23. Diagrama Esquemático Final de la Propuesta de Solución.

4.1 SIMULACIÓN DEL SISTEMA

4.1.1 Simulación en Proteus

Para poder validar la propuesta de solución se empleó el software Proteus 8 Professional obteniendo los resultados esperados, tanto para el control de temperatura como para el de pH:

- El LED rojo se encendía solo cuando la temperatura bajaba de 27.5°C.
- El LED azul se encendía solo si el pH era menor a 6.5 o mayor a 7.5.
- EL calefactor se encendía cuando la temperatura era menor a 27.5°C y se apagaba cuando esta superaba los 29.5°C.
- El sistema de cambio de agua (válvulas y sensores de nivel) entraba en funcionamiento en dos ocasiones: cuando el pH era menor a 6.5 (potenciómetro menor a 46.4% de su capacidad) o cuando era mayor a 7.5 (potenciómetro mayor a 53.6% de su capacidad). Para el primer caso, este sistema se apagaba cuando el pH superaba el valor de 7 (50% en el potenciómetro) y para el segundo caso se apagaba cuando el pH era menor a 7.

Se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Ya que no existía ningún componente de medición de pH en Proteus 8, se decidió simularlo mediante un potenciómetro. Al alimentar con 5V al potenciómetro se consigue un funcionamiento similar al del sensor de pH, puesto que este entregará un valor de 0 a 5V a la entrada analógica del Arduino y como este tiene un ADC de 10 bits, el rango de voltaje de 0 a 5 será convertido en un número de 0 a 1023. Luego mediante una fórmula de conversión se podrá tener el valor de pH en el rango de 0 a 14.
- Para simplificar la simulación, en vez de usar lámparas LEDs de 220Vac se usaron diodos LEDs. El funcionamiento es el mismo, un '1' lógico enciende el LED y un '0' lo apaga.
- Los sensores de nivel tipo interruptor flotador fueron simulados como simples interruptores, esto significa que cuando el agua llegue a su nivel, estos se cerrarán. Por lo que manualmente se puede simular su estado.

- En la figura 25 se puede ver el circuito de alimentación. Para simplificar los cables en el diagrama esquemático de la solución final en la figura 24, se hace referencia a los voltajes 5Vdc, 12Vdc y 220Vac a través de etiquetas.
- Dado que el software Proteus 8 es un poco lento para simular circuitos con Arduino, se hicieron dos simulaciones por separado. Una para el control de temperatura y otra para el control de pH.

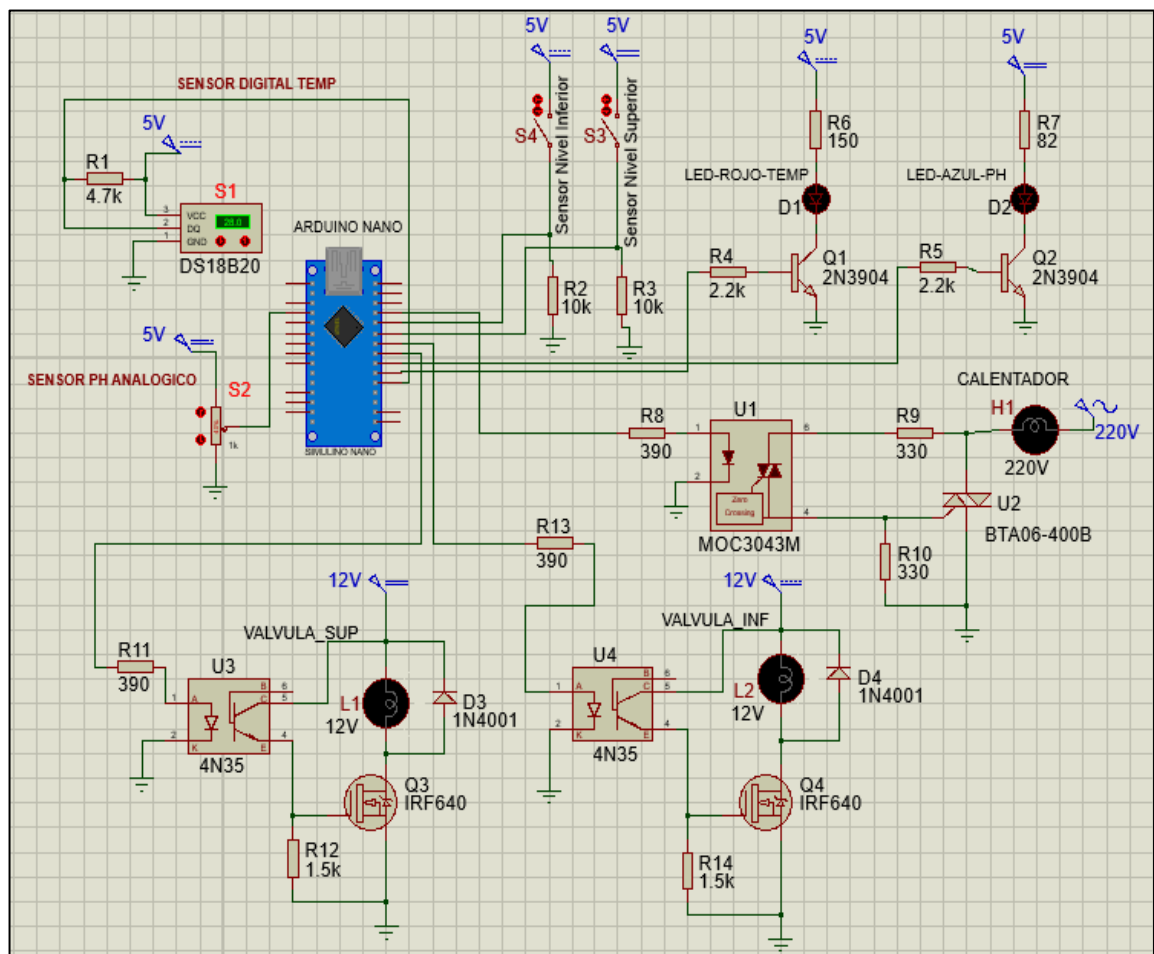


Figura 24. Diagrama esquemático en Proteus. Sensores, controlador y actuadores.

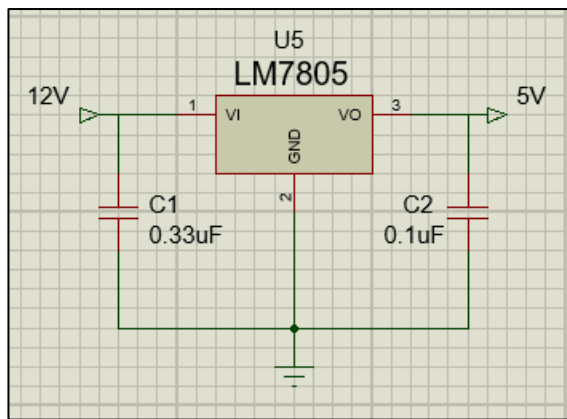


Figura 25. Diagrama esquemático en Proteus. Alimentación.

Componentes:

- S1: sensor de temperatura digital DS18B20
- S2: sensor de pH (representado como potenciómetro en la figura 24)
- S3, S4: sensores de nivel superior e inferior respectivamente.
- R1= 4.7k Ω , resistencia de pull-up para el sensor de temperatura.
- R2 = R3 = 10k Ω , resistencias pull-down para los sensores de nivel.
- Q1, Q2: Transistores NPN 2N3904.
- R4 = R5 = 2.2k Ω . Resistencias en las bases de Q1, Q2.
- R6 = 150 Ω , R7 = 82 Ω , resistencias en serie con D1 y D2 respectivamente.
- D1: Diodo LED rojo para la variable temperatura.
- D2: Diodo LED azul para la variable pH.
- R8 = 390 Ω , R9 = 330 Ω y R10 = 330 Ω para el circuito del calentador.
- U1: optoaislador MOC3043 con detector de cruce por cero.
- U2: TRIAC BTA06-400B.
- H1: calentador para acuario de 25W, 220Vac.
- R11 = R13 = 390 Ω . R12 = R14 = 1.5k Ω .
- U3, U4: optoaisladores 4N35 para las válvulas superior e inferior respectivamente.
- Q3, Q4: MOSFETs IRF640.
- D3, D4: diodos 1N4001 de protección en paralelo con las bobinas (cargas inductivas).
- L1, L2: bobinas de las válvulas solenoides superior e inferior respectivamente.

- U5: regulador de voltaje LM7805.
- C1 = 0.33uF, C2 = 0.1uF.

4.1.2 Simulación en Matlab

Por otro lado, se hizo una simulación en Matlab del modelo matemático del llenado de un tanque, como se puede ver en la siguiente imagen:

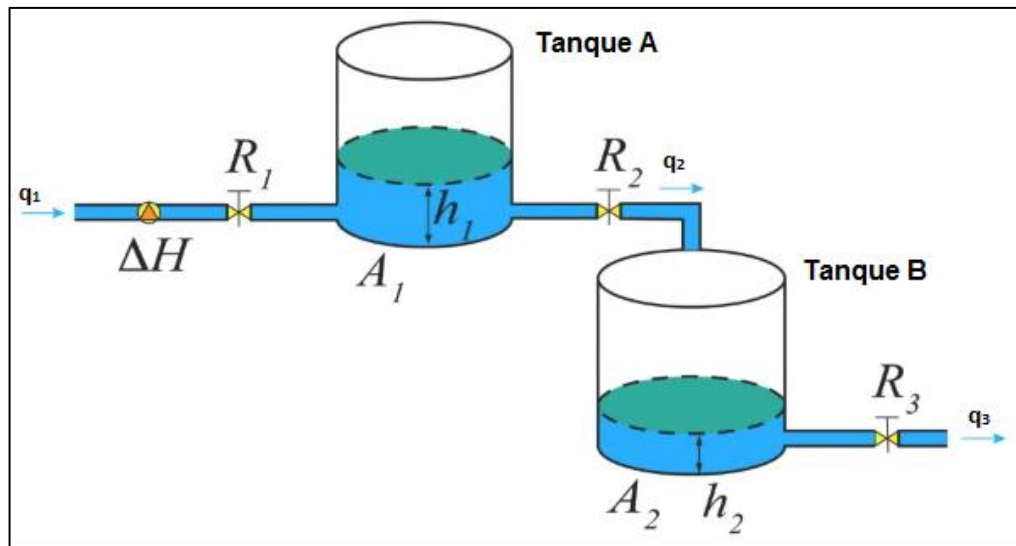


Figura 26. Modelo de tanques de la simulación en Simulink.

Del modelo matemático del llenado de un tanque de agua [25], se tienen las siguientes ecuaciones para el tanque A:

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = (q_1 - q_2) \dots\dots (Fórmula 3)$$

Lo cual es equivalente a la siguiente expresión:

$$A_1 \frac{dh_1}{dt} = \left(\frac{\Delta H - h_1(t)}{R_1} - \frac{h_1(t)}{R_2} \right) \dots\dots (Fórmula 4)$$

Para ello se usó la definición de la resistencia de una válvula [25]:

$$R = \frac{\text{Cambio en la diferencia de nivel}}{\text{Cambio en la velocidad de flujo}} \frac{m}{m^3/seg} \dots\dots (Fórmula 5)$$

Por otro lado, para el tanque B se tiene:

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = (q_2 - q_3) \dots\dots (Fórmula 6)$$

$$A_2 \frac{dh_2}{dt} = \left(\frac{h_1(t)}{R_2} - \frac{h_2(t)}{R_3} \right) \dots\dots (Fórmula 7)$$

De las fórmula 4 y 7 se obtiene:

$$\frac{dh_1}{dt} = \left(\frac{\Delta H - h_1(t)}{R_1} - \frac{h_1(t)}{R_2} \right) / A_1 \dots\dots (Fórmula 8)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \left(\frac{h_1(t)}{R_2} - \frac{h_2(t)}{R_3} \right) / A_2 \dots\dots (Fórmula 9)$$

Finalmente, como ya se mencionó, para dar inicio al funcionamiento del sistema automatizado de crianza de alevines, primero el tanque A será llenado de forma manual a través de un grifo hasta su máxima capacidad (60cm de altura). Luego se procede a llenar el tanque B (tanque de crianza de alevinos de paiche) hasta llegar a una altura de 26cm. Recién ahora se puede dar inicio al sistema automatizado. Para el caso de regulación de pH mediante un sistema de recambio de agua del tanque B existen dos posibles estados: llenado de del tanque y vaciado del mismo. Ambos una cantidad de 4 litros (desde 26cm hasta 30cm de altura).

A continuación se presenta una simulación en Matlab-Simulink del llenado del tanque B:

En este caso $q_1 = q_3 = 0 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que solo hay transferencia de agua del tanque A al B. Por lo tanto, las fórmulas 8 y 9 descritas anteriormente se simplifican a las siguientes:

$$\frac{dh_1}{dt} = \left(-\frac{h_1(t)}{R_2} \right) / A_1 \dots\dots (Fórmula 10)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \left(\frac{h_1(t)}{R_2} \right) / A_2 \dots\dots (Fórmula 11)$$

De la definición de R [25], se procede a hallar R_2 en la figura 26, el cual dependerá de la altura inicial del tanque A. Se sabe que R es la cantidad en

metros del cambio de nivel del agua para que haya un cambio en el caudal de $1 \text{ m}^3/\text{s}$. Sin embargo, nosotros trabajamos con unidades de caudal de litros/minuto. Por lo que habrá un factor de conversión de 60000.

Se harán los cálculos para el caso de $h_1(0) = 60\text{cm}$. Sin embargo, en el anexo 8 se pueden ver los cálculos para $h_1(0) = 40\text{cm}$ y para $h_1(0) = 20\text{cm}$.

Con una altura de $h_1 = 0.6\text{m}$ se halla que $q_2 = 6.2$ litros/minuto. Entonces para $q = 7.2$ litros/minuto se halla un $h_1 = 0.8077\text{m}$. Por lo que la diferencia de altura es $0.2077 = R/60000$. Entonces $R_2 = 12464$.

Por otro lado, dado que el tanque A tiene dimensiones de 65cm de largo x 65cm de profundidad, A_1 será igual a 0.4225m^2 , mientras que el tanque B con dimensiones 40cm de largo x 25cm de profundidad tendrá un A_2 igual a 0.1m^2 .

A continuación se puede ver el diagrama de bloques en Simulink y los resultados obtenidos:

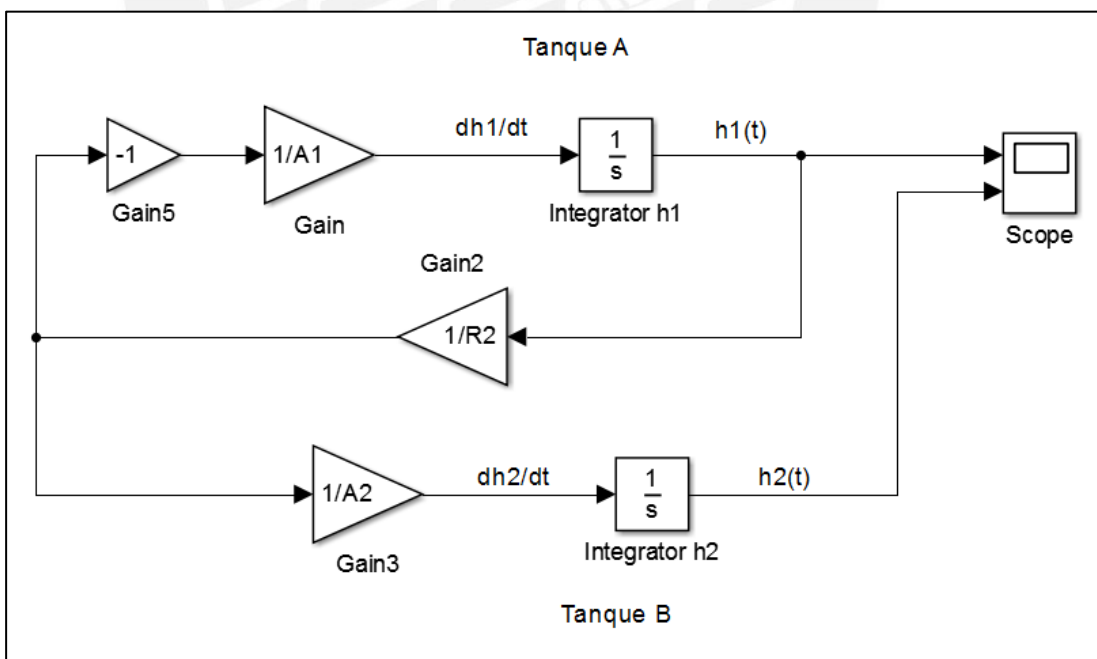


Figura 27. Diagrama de Simulación en Simulink.

Donde:

- $h_1(t)$: Altura en metros del tanque A en función del tiempo.
- $h_2(t)$: Altura en metros del tanque B en función del tiempo.
- Se usaron condiciones iniciales $h_1(0) = 0.6\text{m}$ y $h_2(0) = 0.26\text{m}$ de altura.

En la figura 28 podemos ver dos gráficas, la de la izquierda representa al nivel $h_1(t)$ en metros del tanque A (la que llamaremos gráfica 1), mientras que la gráfica de la derecha representa el nivel $h_2(t)$ en metros del tanque de área A_2 (gráfica 2). El eje X tiene unidades de segundos (hasta 90s), mientras que el eje Y tiene unidades de metros.

Se puede apreciar que la gráfica 1 disminuye con el tiempo mientras que la gráfica 2 aumenta. Esto es lógico, ya que el agua está pasando del tanque A al B.

En la gráfica 2 ($h_2(t)$) se puede ver que para que el nivel del tanque B llegue desde 26cm hasta 30cm deben pasar aproximadamente unos 76 segundos (1 minuto y 16 segundos). En la sección de sensores de nivel del capítulo 3 se había calculado teóricamente que el llenado de los 4 litros demoraría unos 40 segundos. Sin embargo, el resultado de simulink también toman en consideración el hecho de que a medida que el nivel del agua en el tanque A disminuye, también lo hará el caudal q_2 , puesto que habrá una menor presión del agua del tanque A.



Figura 28. Resultados Simulink para $h_1(0) = 0.6\text{m}$ y $h_2(0) = 0.26\text{m}$ de altura.

En el anexo 8 se podrá ver que a medida que el nivel del agua del tanque A disminuya, también lo hará el caudal q_2 de salida del tanque A. Por lo tanto, el tiempo de llenado del tanque B aumentará un poco. Sin embargo, esto es conveniente para la presente solución, puesto que mientras más minutos demore el recambio de agua, mayor tiempo tendrá el sensor de pH para detectar los cambios y cambiar el estado de las válvulas.

Por otro lado, se hizo la misma simulación para el caso del vaciado del tanque de alevinos de paiche. Se empleó el mismo diagrama de tanques de la figura 26 y las fórmulas 10 y 11 halladas anteriormente, solo que ahora el tanque A vendría a ser el tanque B y el tanque B sería el tanque C (tanque de aguas residuales) y el A_1 sería igual a 0.1m^2 , mientras que A_2 tomaría el valor de 0.4225m^2 . Por lo que ahora:

- $h_1(t)$: Altura en metros del tanque B en función del tiempo.
- $h_2(t)$: Altura en metros del tanque C en función del tiempo.
- Se usaron condiciones iniciales $h_1(0) = 0.30\text{m}$ y $h_2(0) = 0$ m de altura.

Nuevamente $q_1 = q_3 = 0$ m^3/s , puesto que en el vaciado de los 4 litros del tanque de alevinos de paiche solo habrá transferencia de agua del tanque B al C.

Con una altura de $h_1 = 0.3\text{m}$ se halla que $q_2 = 4.387$ litros/minuto. Entonces para $q = 3.387$ litros/minuto se halla un $h_1 = 0.1788\text{m}$. Por lo que la diferencia de altura es $0.121157 = R/60000$. Entonces $R_2 = 7269$.

En la figura 29 se puede ver el resultado de la simulación.

De la gráfica $h_1(t)$, se puede ver que se necesitan aproximadamente unos 105 segundos (1 minuto y 45 segundos) para retirar los 4 litros del tanque B (bajar la altura de 30cm a 26cm). Este valor es mayor al hallado en la sección de sensores de nivel del capítulo 3, puesto que Matlab está considerando el hecho de que a medida que el tanque B se vacíe, habrá una menor presión del agua en el mismo y por lo tanto un menor caudal.

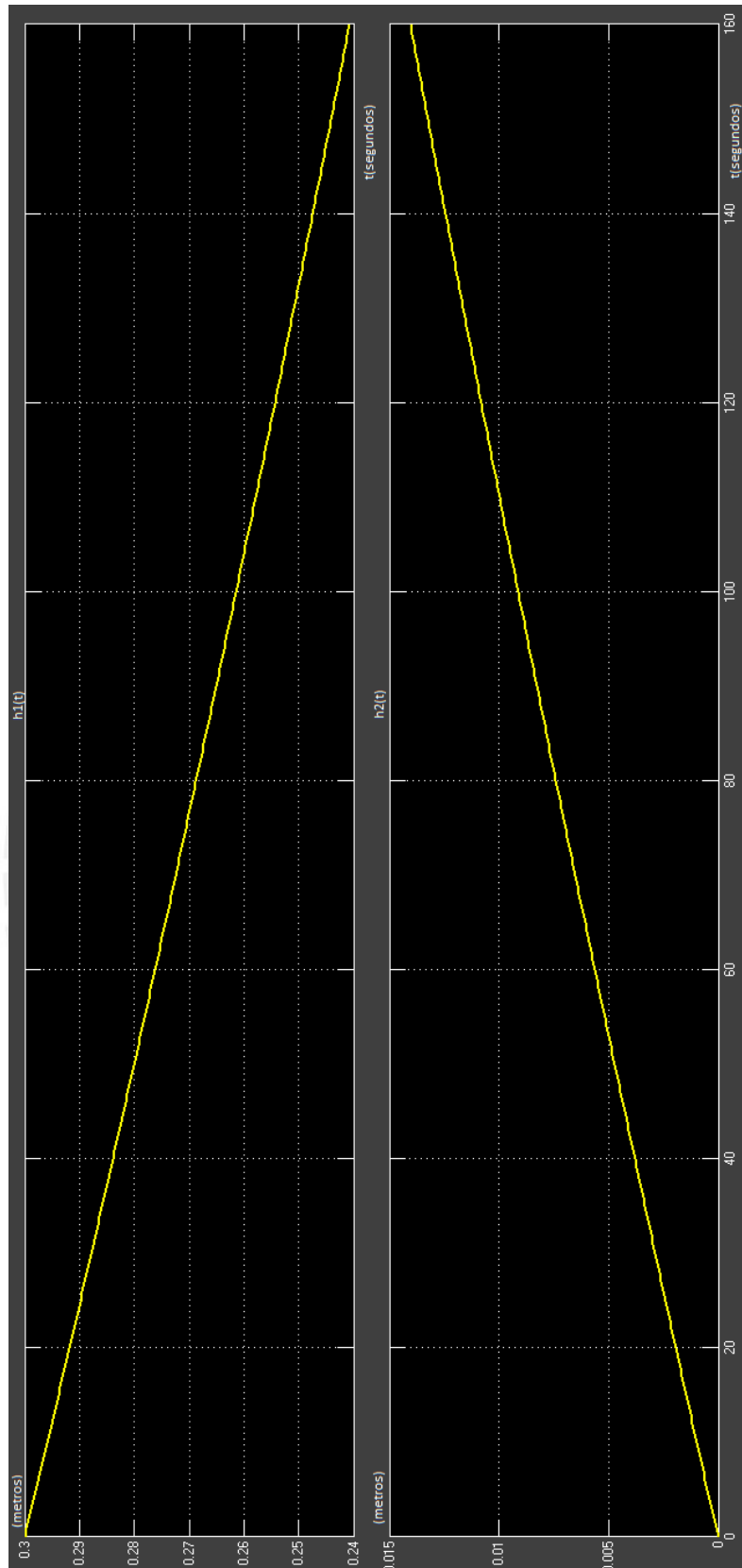


Figura 29. Resultados Simulink. Vaciado Tanque de Alevinos.

4.1.3 Simulación en AutoCAD Plant 3D

Además, se usó el software Autocad Plant 3D 2016 para poder tener una mejor visión de los tanques A, B y C en la crianza de alevinos de paiche dentro del laboratorio del IIAP.

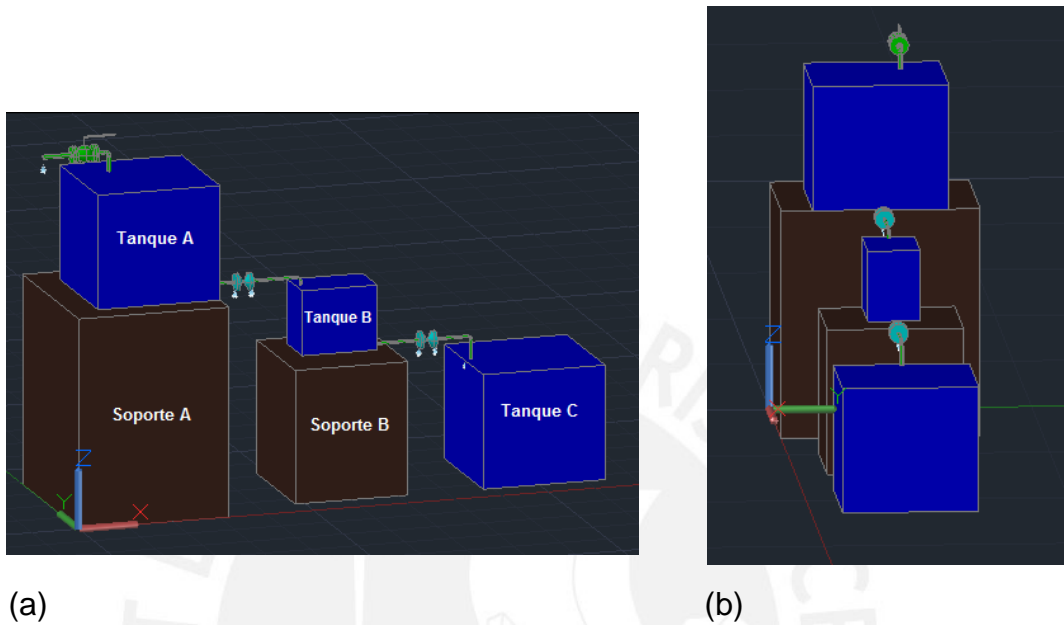


Figura 30. Autocad Plant 3D. a.Vista1; b. Vista 2.

Como se pueden ver en las figuras 30.a y 30.b, se contarán con 3 tanques. El tanque A tendrá el agua de lluvia limpia a través de un grifo de agua. El tanque B será usado directamente para la crianza de alevinos de paiche y el tanque C almacenará el agua sucia. No hay necesidad de usar bombas de agua, todo el sistema funciona mediante gravedad. Se puede ver también que hay dos válvulas solenoides: una entre los tanques A y B, y otra entre los tanques B y C, ambas normalmente cerradas. Además, el sistema cuenta con dos soportes, el soporte A tiene unas dimensiones de 80cm (eje X) x 95cm (eje Y) x 110cm (eje Z) y servirá para sostener al tanque A. El soporte B tiene una altura de 70cm, tiene una puerta en un lado y dentro de él se anclarán las tarjetas electrónicas con los componentes. Además, habrá unos agujeros en otro lado del soporte B para la entrada del cable de alimentación, los cables de los sensores de temperatura, de nivel y de pH, para las válvulas solenoides, para el calentador y para las lámparas LEDs

que estarán justo en la superficie del soporte. Estos indicadores luminosos podrán ser vistos desde afuera sin necesidad de abrir la puerta del soporte B.

4.2 ALCANCE DEL PROYECTO

Como se ha podido ver, el alcance del presente objeto de estudio se puede resumir en tres puntos:

- Mantener el nivel de temperatura por encima de 27.5°C.
- Mantener el rango de pH entre 6.5 y 7.5.
- Mostrar mediante indicadores luminosos cuando la temperatura y/o el pH no se encuentran dentro de los rangos óptimos.

Como primera prueba solo se ha colocado un tanque B en el diseño. Sin embargo, la propuesta de solución es escalable y la idea es que se usen más tanques B, cada uno con su respectivo soporte de acuerdo a la cantidad de alevinos de paiche a criar. El tanque A usado en esta solución tiene capacidad para abastecer hasta 6 tanques B. Los tanques B tienen una capacidad de hasta 120 alevinos de paiche. Al usar 6 de estos tanques se podrían criar hasta 720 alevinos de forma simultánea. De tenerse una mayor cantidad de alevinos se podrían implementar más tanques A o aumentar sus dimensiones.

Por otro lado, si bien es cierto la propuesta de solución se ha basado en las características y contexto de la crianza de alevinos de paiche de etapa 1; es decir, desde que los alevinos miden 2 cm y son retirados del cuidado de sus padres hasta que alcanzan los 7cm, los resultados obtenidos pueden ser utilizados para la crianza de otras especies acuáticas. Solo se deberá cambiar los valores de temperatura y de pH en el código de programación de acuerdo a la especie y al lugar en donde se las cría. Por lo que resulta fácil aplicarlo en otras especies o etapas de crianza de peces.

4.3 PRESUPUESTO Y RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

A continuación se presenta una tabla de los costos de todos los componentes utilizados en la propuesta de solución:

Tabla 4. Costo total por cada tanque de crianza de alevinos de paiche.

Componente	Costo Unitario en S/.	Cantidad	Costo Total en S/.
Sensor de Temperatura DS18B20 (versión impermeable)	15	1	15
Kit de Medición de pH y soluciones buffer de calibración.	180	1	180
Sensor de Nivel Tipo Interruptor Flotador	10	2	20
Calefactor 25W para Acuario	15	1	15
Válvula Solenoide 1/4"	110	2	220
Arduino Nano 3.0	25	1	25
Fuente Switching 12V@2A	22	1	22
Regulador Voltaje LM7805	1.5	1	1.5
Lámpara LED y Socket	17.5	2	35
Optoacoplador 4N35	1.5	2	3
Optoacoplador MOC 3043	2	1	2
MOSFET IRF640	3	2	6
TRIAC BTA06-400B	5	1	5
Módulo Relay 2 Canales	12	1	12
Resistencias, Capacitancias y Diodos	5	1	5
Cables, Tuberías y Tarjetas Impresas	100	1	100
Tanque de Crianza de Alevinos (Tanque B) y soporte B	200	1	200
Servicio de Implementación/Instalación	1000	1	1000
Total			1866.5

Este es el precio que costaría poner en funcionamiento un tanque B (tanque de crianza de alevinos de paiche), con el cual podemos tener hasta 120 alevinos de etapa 1. Con esto se hará una prueba piloto para validar la propuesta de solución. Una vez verificada, se puede usar este sistema para

cubrir con la cantidad total de alevinos que se crían en los laboratorios del IIAP. Para ello necesitaríamos 6 de estos tanques.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta el costo de diseño de la propuesta de solución (horas/hombre diseñador), el costo de la PC dedicada y el software empleado (Proteus, Matlab, AutoCAD Plant 3D), el costo de los tanques A y C, y el costo del pasaje a la ciudad de Iquitos para la implementación.

Por lo tanto, el costo total de puesta en funcionamiento de 6 tanques B (capacidad de hasta 720 alevinos de paiche):

Costo Total = $1866.5 \times 6 + 500$ (Prueba Piloto) + 2200 (Horas/Hombre Diseñador) + 1000 (PC/Software) + 25 (Interruptor Termomagnético) + 400 (tanques A y C, y soporte A) + 600 (Lima-Iquitos ida y vuelta) = S/.15924

Tabla 5. Utilidades Mensuales Usando el Sistema Automatizado Propuesto.

	Cantidad Mensual de Alevinos que Ingresan al Laboratorio	Porcentaje de Supervivencia	Cantidad Mensual de Alevinos al Terminar la Etapa 1	Precio de Venta Por Unidad en S/.	Precio de Venta Total en S/.
Sistema Actual	720	50%	360	10	3600
Sistema Automatizado Propuesto	720	70%	504	10	5040
Diferencia					1440

El precio de venta de alevinos de paiche así como también el de los tanques/soportes fue obtenido mediante consultas al IIAP de Iquitos [8]. Además, los costos de diseño/implementación, hardware/software y pasajes aéreos fueron determinados según valores actuales del mercado.

Se sabe que la época de reproducción de paiches es de octubre a marzo [8]. Es decir, en un año se pueden generar hasta 6 veces la utilidad hallada en la

tabla 5. Además considerar un mantenimiento anual del sistema de S/.1000 debido al desgaste/deterioro de los componentes.

Ganancia Anual Neta= $S/.1440 \times 6 - S/.1000 = S/.7640$.

Considerando que el sistema costó en total S/.15924, en dos años aproximadamente se recuperaría la inversión inicial. A partir del tercer año ya se obtendrían ganancias netas de S/.7640.



CONCLUSIONES

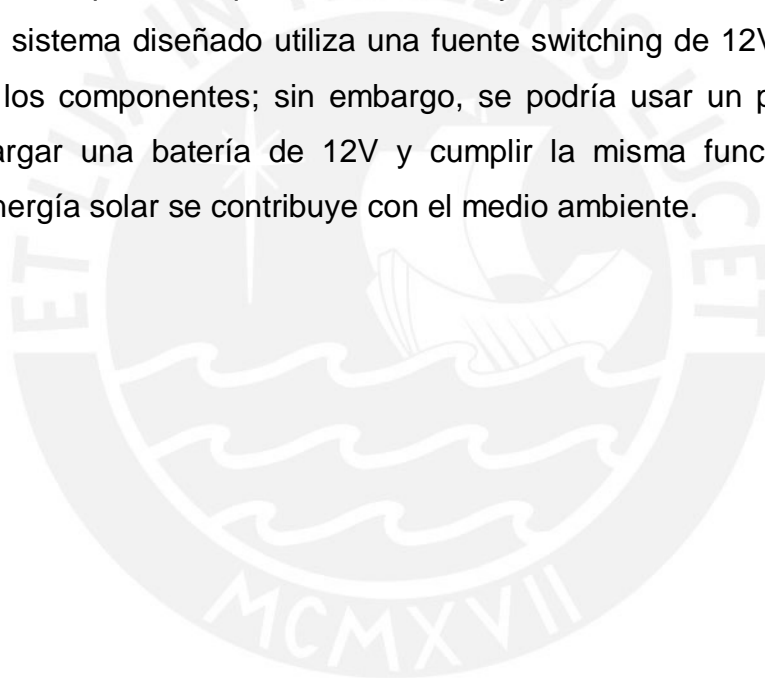
Se puede concluir lo siguiente:

- El sistema diseñado es automático puesto que una vez encendido funciona de forma independiente. Con esto ya no es necesario que una persona esté presente todo el tiempo para hacer mediciones o ajustes.
- Mediante los software Proteus y Matlab-Simulink, y la prueba de concepto se pudo simular y validar el diseño propuesto. Con ello se puede conseguir que la temperatura del sistema se mantenga siempre por encima de 27.5°C y el rango de pH entre 6.5 y 7.5.
- En base al estudio realizado, al mantener la temperatura por encima de 27.5°C y el pH entre 6.5 y 7.5, se puede contribuir a futuro en disminuir la tasa de mortalidad en 20% de alevinos de paiche y con ello aumentar su producción y venta considerablemente.
- Se hizo un presupuesto y se determinó que en dos años se puede recuperar la inversión inicial. A partir del tercer año se pueden usar estos ingresos para reinvertir en nuevas tecnologías y para mejorar la infraestructura del IIAP.

RECOMENDACIONES

Se deberá tener en cuenta las siguientes recomendaciones para trabajos futuros:

- El sistema diseñado es adaptable, por lo que puede ser usado en otras especies acuáticas y/o en otras etapas de vida. Para esto solo será necesario ajustar los valores de referencia de temperatura y de pH en base a las características de la especie a tratar.
- El sistema diseñado es escalable porque se pueden usar múltiples acuarios en simultáneo dependiendo de la cantidad de alevinos a criar. Los componentes para cada acuario y su instalación es la misma.
- El sistema diseñado utiliza una fuente switching de 12V para alimentar a los componentes; sin embargo, se podría usar un panel solar para cargar una batería de 12V y cumplir la misma función. Al emplear energía solar se contribuye con el medio ambiente.



FUENTES

[1]

ALCANTARA, Fernando, Walter H. **WUST** y otros.

2006 *Paiche. El Gigante del Amazonas*. Lima: Wust Ediciones.

[2]

**TRATADO DE COOPERACION AMAZONICA. SECRETARIA PRO
TEMPORE**

1999 *Manual de Piscicultura del Paiche (Arapaima Gigas Cuvier)*.

Caracas: Dolly Lizarraga.

[3]

FLORES, Manuel

2012 *Tecnología de Producción de Paiche (Arapaima Gigas) Cultivado*

en Ambientes Controlados. Tesis para la obtención del título de

Ingeniero Pesquero. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina,

Facultad de Pesquería.

[4]

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACION
Y LA AGRICULTURA (FAO)**

Papel de la FAO en la acuicultura. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.fao.org/aquaculture/es/>

[5]

PERÚ ECOLÓGICO

La Acuicultura. Consulta: 02 de junio de 2018.

http://www.peruecologico.com.pe/lib_c20_t09.htm

[6]

EL ACUARIOFILO

Paiche: Arapaima Gigas. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://elacuariofilo.blogspot.pe/2011/06/paiche.html>

[7]

VOTO, Jorge.

Piscicultura Amazónica con Especies Nativas.

Lima. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/CDinvestigacion/iiap/iiap1/texto.htm>

[8]

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA (IIAP)

AQUAREC (Programa de Investigación para el Uso y Conservación Del Agua y sus Recursos). Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.iiap.org.pe/web/aquarec.aspx>

[9]

MINISTERIO DE LA PRODUCCIÓN

Red Nacional de Información Acuícola. Consulta: 02 de junio de 2018.

http://rnia.produce.gob.pe/index.php?option=com_content&view=article&id=288:copescaal2016&catid=22:actividades&Itemid=76

[10]

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA AMAZONIA PERUANA

2002 *Producción y Manejo de Alevinos de Paiche.* Iquitos.

Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.iiap.org.pe/Upload/Publicacion/M007.pdf>

[11]

E. TRAIN, Rusell

2003 *Seminario Talle Internacional de Manejo de Paiche o Pirarucu.*

Iquitos.

[12]

DOTRO, Pablo, Mariano NARDI, Debora RODRÍGUEZ y Vanesa RODRÍGUEZ

1994 *Estudio de la Evolución del pH en Función de la Temperatura.*

Buenos Aires.

Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.elysium.com.ar/science/phys/files/ph.pdf>

[13]

MENDOZA, Walter

2011 *Control de Temperatura y Monitoreo de PH del Agua en el*

Proceso de Incubación de Tilapias Usando PLC. Tesis para optar

el título de Ingeniero Electrónico. Lima: Pontificia Universidad

Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

[14]

TORRES, Juan

2007 *Diseño e Implementación de un Instrumento de Medición de PH para la Crianza de Truchas.* Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

[15]

DULANTO, Luis

2009 *Diseño de un Sistema de Monitoreo Remoto de Parámetros Ambientales Críticos de la Planta Piloto de Acuicultura de la PUCP.* Tesis para optar el título de Ingeniero Electrónico. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería.

[16]

BREGNBALLE, Jacob

A Guide to Recirculating Aquaculture. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.fao.org/3/a-i4626e.pdf>

[17]

CAMPAÑA, Roberto

Apuntes de Clase. Mecánica de Fluidos 1.

Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Civil.

Consulta: 02 de junio de 2018.

http://www.academia.edu/7258433/APUNTES_DE_CLASE_MECANICA_DE_FLUIDOS_I

[18]

ALMACHE, Luis y Luis **TOAPANTA**.

Control de Temperatura On-Off con Histéresis Mediante la Utilización de un Cautín. Consulta: 02 de junio de 2018.

<https://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis>

[19]

NAYLAMP MECHATRONICS

Sensor de Temperatura Digital DS18B20. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/16-sensor-de-temperatura-digital-ds18b20.html>

[20]

EBAY

Sensor pH Arduino Acuicultura. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.ebay.com/itm/DIY-Analog-PH-Probe-Sensor-Shield-PH-Probe-Kit-For-Arduino-Aquaculture-Test-/151790967773?hash=item2357725bdd:g:E8sAAOSw~gRV2vrU>

[21]

VALVIAS

Coeficiente de Descarga de una Válvula. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.valvias.com/coeficiente-de-descarga.php>

[22]

BLUE RIDGE AQUACULTURE

What is Recirculating Aquaculture? Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.blueridgeaquaculture.com/recirculatingaquaculture.cfm>

[23]

EBAY

Válvula Solenoide 12V ¼”. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.ebay.com/itm/1-4-Inch-Plastic-Electric-Air-Gas-Water-Solenoid-Valve-Normally-Closed-12V-DC-/111122910537?hash=item19df710d49:g:p6IAAOxyZW5R6OOQ>

[24]

EBAY

Sensor de Nivel Interruptor Flotador. Consulta: 02 de junio de 2018.

http://www.ebay.com/itm/Right-Angle-Float-Switch-Liquid-Water-Level-Sensor-Float-Switch-Low-Pressure/162213601050?_trksid=p2047675.c100005.m1851&_trkparms=aid%3D222007%26algo%3DSIC.MBE%26ao%3D2%26asc%3D40293%26meid%3D1bf9126660c64513b1822e1fac34eb63%26pid%3D100005%26rk%3D4%26rkt%3D6%26sd%3D221515981722

[25]

OGATA, Katsuhiko

2010 Ingeniería de Control Moderna. Quinta Edición. Lima: Pearson, pp. 100-106.

[26]

THE SPRUCE

Aquarium Heater Size Guide. Consulta: 02 de junio de 2018.

<https://www.thespruce.com/aquarium-heater-size-guide-1381033>

[27]

NAYLAMP MECHATRONICS

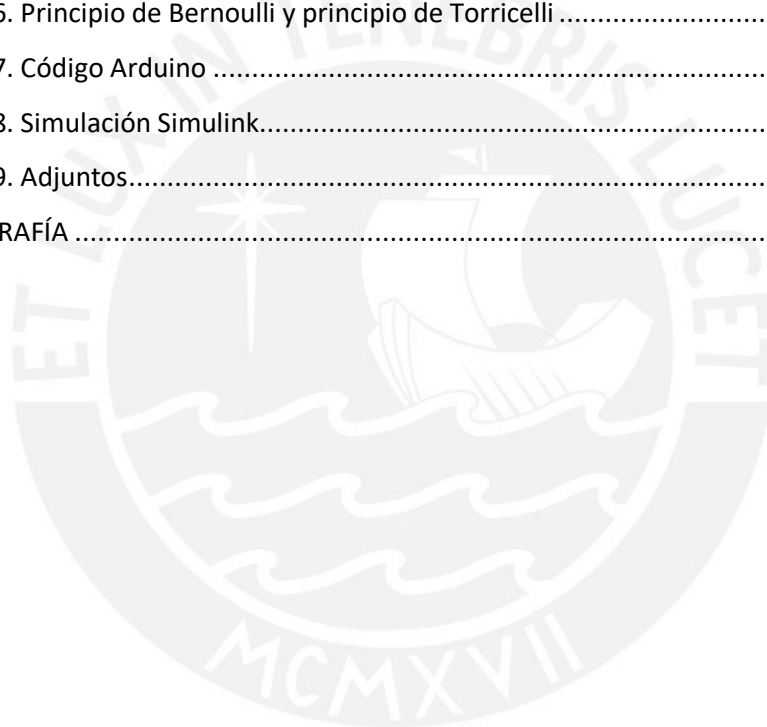
Módulo Relay 2CH 5VDC. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.naylampmechatronics.com/drivers/31-modulo-relay-2-canales-5vdc.html>



Anexos

ANEXO 1. Evaluación Técnica Económica de Sensores de Temperatura y pH	2
Alternativas para medición de temperatura	2
Alternativas para medición de pH	4
ANEXO 2. Evaluación Técnica Económica de Regulación de Temperatura	8
ANEXO 3. Evaluación Técnica Económica de Medición del Nivel del Tanque	11
ANEXO 4. Teoría de Control.....	15
ANEXO 5. Teoría de pH.....	18
ANEXO 6. Principio de Bernoulli y principio de Torricelli	19
ANEXO 7. Código Arduino	20
ANEXO 8. Simulación Simulink.....	26
ANEXO 9. Adjuntos.....	28
BIBLIOGRAFÍA	29



ANEXO 1. Evaluación Técnica Económica de Sensores de Temperatura y pH

Alternativas para medición de temperatura

Solución 1: Sensor de temperatura impermeable DS18B20 (ya viene encapsulado)

Solución 2: Sensor LM35 + circuito amplificador + encapsulado para sumergir en agua

Solución 3: Sensor LM35 + módulo bluetooth + encapsulado para sumergir en agua

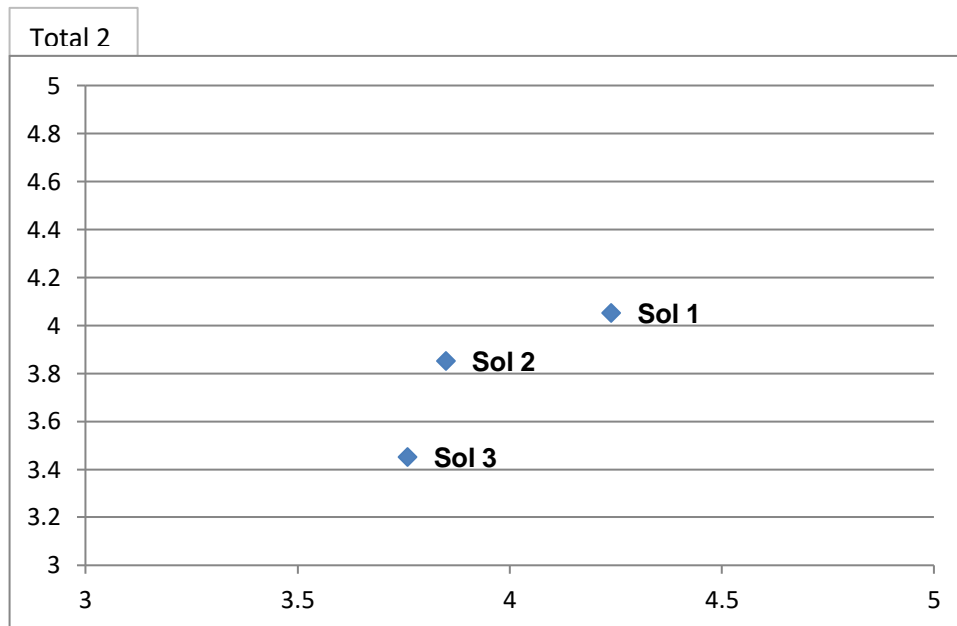
Tabla A1. Evaluación técnica-económica para medición de temperatura

No	Propiedad Técnica y Económica		Soluciones		
	Criterio	Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3
1	Función	5	4	4	4
2	Desempeño	5	4	4	4
3	Forma	1	5	3	1
4	Diseño	3	5	4	4
5	Seguridad	5	4	4	4
6	Ergonomía	1	4	4	3
7	Fabricación	4	4	4	4
8	Montaje	4	5	3	3
9	Uso	5	4	4	4
Total 1			4.24	3.85	3.76
10	Mantenimiento	5	4	4	4
11	Costo de Fabricación	4	4	4	4
12	Costo de Tecnología	4	5	4	2
13	Costo de Mantenimiento	4	4	4	4
14	Costo de Desecho	3	3	3	3
Total 2			4.05	3.85	3.45

Tabla A2. Resumen de tabla A1.

	Total 1	Total 2	Promedio
Sol 1	4.24	4.05	4.15
Sol 2	3.85	3.85	3.85
Sol 3	3.76	3.45	3.60

Tabla A3. Gráfica x-y



El eje x representa la variable "total 1", el eje y representa la variable "total 2".

Se puede ver que la solución más cerca al valor ideal (5,5) es la solución 1. Es decir, la solución óptima para la etapa de medición de temperatura es mediante el **sensor digital impermeable DS18B20**. Esto debido a las buenas características del mismo:

- ✓ Ha sido diseñado para trabajar con proyectos de microcontroladores y Arduino.
- ✓ Nos evitamos de hacer la parte de acondicionamiento de señal, puesto que se trata de un sensor digital.
- ✓ No hay mayor preocupación de usar largas tiras de cables porque la señal de salida es digital (más fuerte ante el ruido).

- ✓ Además utiliza el protocolo 1-wire, cada sensor es fabricado con un ID de 64 bits que lo identifica de forma única permitiendo usar múltiples sensores conectados a un solo pin digital.

La principal dificultad de usar un sensor LM35 es que este es analógico y además se debe de comprar un encapsulado adicional para poder sumergirlo en el agua.

Se incluye la bibliografía en la parte final.

Alternativas para medición de pH

Solución 1: Kit completo de medición de pH

Solución 2: Electrodo de pH + circuito acondicionamiento

Tabla A4. Evaluación técnica-económica para medición de pH

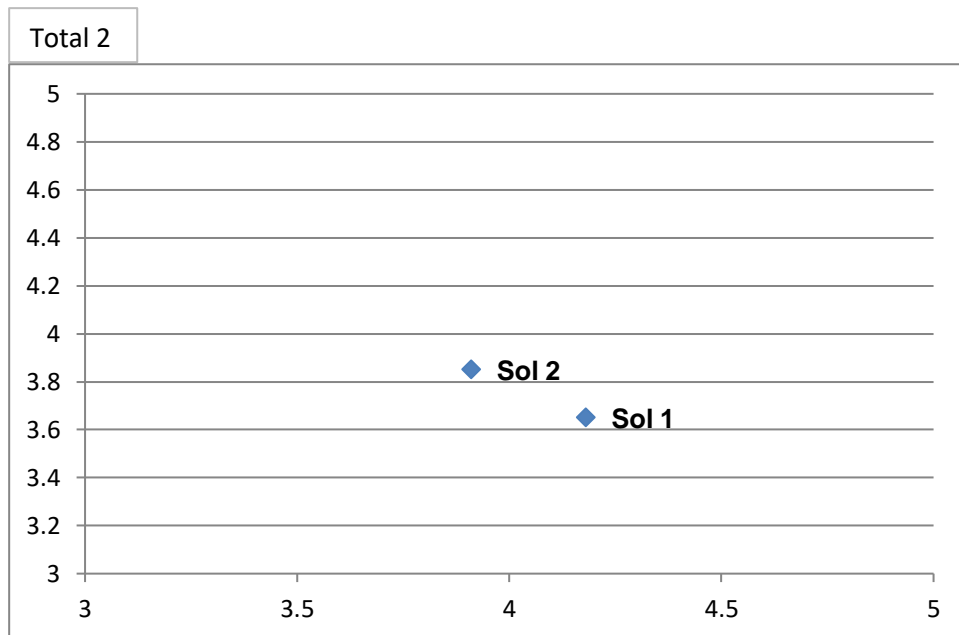
No	Propiedad Técnica y Económica		Soluciones	
	Criterio	Peso	Solución 1	Solución 2
1	Función	5	5	4
2	Desempeño	5	4	4
3	Forma	1	4	3
4	Diseño	3	4	3
5	Seguridad	5	4	4
6	Ergonomía	1	4	4
7	Fabricación	4	3	3
8	Montaje	4	4	4
9	Uso	5	5	5
Total 1			4.18	3.91

10	Mantenimiento	5	4	4
11	Costo de Fabricación	4	4	4
12	Costo de Tecnología	4	3	4
13	Costo de Mantenimiento	4	4	4
14	Costo de Desecho	3	3	3
Total 2			3.65	3.85

Tabla A5. Resumen de tabla A4.

	Total 1	Total 2	Promedio
Sol 1	4.18	3.65	3.92
Sol 2	3.91	3.85	3.88

Tabla A6. Gráfica x-y



El eje x representa la variable “total 1”, el eje y representa la variable “total 2”.

Pese a que ambas soluciones tienen en promedio casi el mismo valor, se puede apreciar que la solución más cerca al valor ideal (5,5) es la solución 1. Es decir, la solución óptima para la medición de pH sería mediante el uso de **un kit completo de medición de pH**. Pese a que esta opción es ligeramente más cara, su mayor funcionalidad y fiabilidad, mejor diseño y facilidad de acondicionamiento/programación la hacen mejor.

Entre sus principales características tenemos a las siguientes:

- ✓ Alimentación de 5V.
- ✓ Rango de medición: 0 - 14pH.
- ✓ Rango de temperatura: 0 - 60°C.
- ✓ Exactitud: +- 0.1pH (25°C).

- ✓ Tiempo de respuesta: ≤ 1 min.
- ✓ Sensor de pH con conector BNC.

La alimentación de 5 voltios será para alimentar al circuito en la tarjeta del sensor de pH. Solo se usa para alimentar a los circuitos integrados dentro que consumen aproximadamente 10mA en total.

El electrodo de pH por sí mismo no necesita de alimentación. Mide la concentración de iones de hidrógeno en la solución y lo expresa como una diferencia de potencial entre sus electrodos de referencia y de medición. En el electrodo de referencia se encuentra una sustancia, normalmente cloruro de plata. Esta deberá ser reemplazada cuando se agote. Además, antes de usar al electrodo, se debe de calibrarlo mediante unas sustancias buffer, de preferencia se debe usar un buffer de pH = 7 y otro de pH = 4.

Como se puede ver en la referencia, hay distintos precios para los kits de medición de pH. El precio varía en función de la calidad y duración del dispositivo. En general los precios van desde 100 hasta 200 soles.

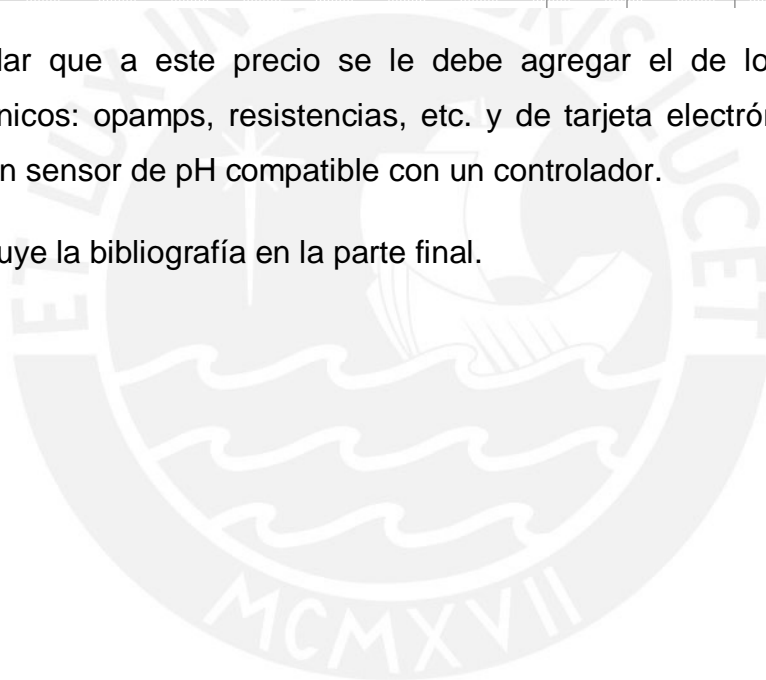
Se hizo una cotización con la empresa Valiometro, la cual vende electrodos de pH. En la tabla A7 se pueden apreciar los precios sin el IGV (18%). El precio varía de acuerdo a la calidad y duración del dispositivo.

Tabla A7. Precios de electrodos de pH en Valiometro sin IGV [3].

Descripción	IGV	P.U.	Cant.	Sub-Total S/.
Electrodo de pH para MP-103 Marca: GONDO Modelo: PY-41		110.17	1	110.17
Electrodo de ORP para MP-103 Marca: GONDO Modelo: PO-50		190.68	1	190.68
Electrodo de pH Marca: GONDO Modelo: ID 4420R		288.14	1	288.14
Electrodo de PH Lutron Marca: LUTRON Modelo: PE-11		135.59	1	135.59
Electrodo de pH de vidrio con conector BNC Marca: GONDO Modelo: GL-43		144.07	1	144.07
Electrodo de pH para suelos Marca: LUTRON Modelo: PE06HD		186.44	1	186.44

Recordar que a este precio se le debe agregar el de los componentes electrónicos: opamps, resistencias, etc. y de tarjeta electrónica para poder tener un sensor de pH compatible con un controlador.

Se incluye la bibliografía en la parte final.



ANEXO 2. Evaluación Técnica Económica de Regulación de Temperatura

Solución 1: Calentador Fijo (no automático) + Circuito Control + Circuito Potencia

Solución 2: Calentador con Termostato (automático)

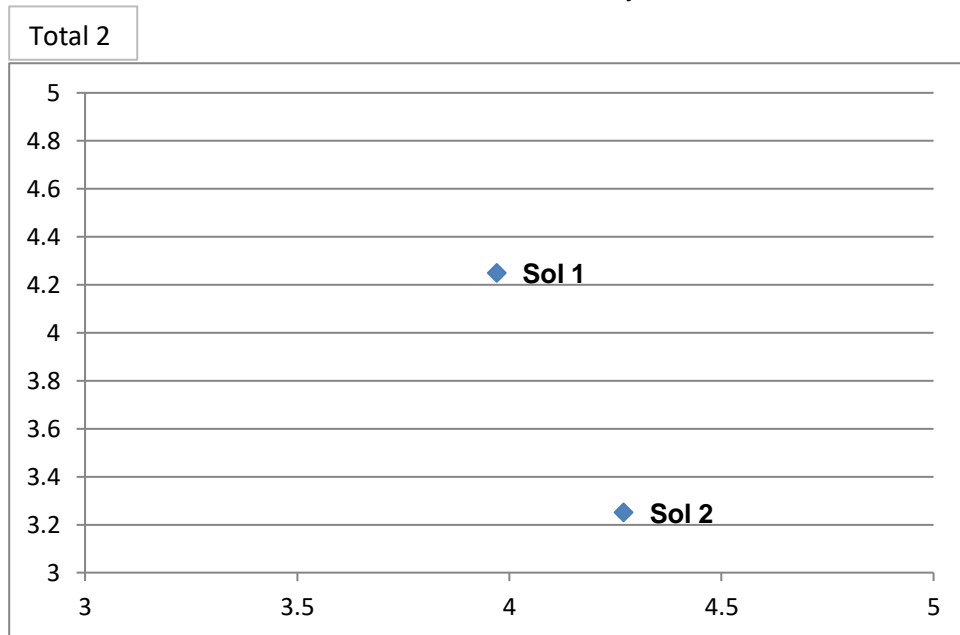
Tabla A8. Evaluación técnica-económica para regulación de temperatura

No	Propiedad Técnica y Económica		Soluciones	
	Criterio	Peso	Solución 1	Solución 2
1	Función	5	4	4
2	Desempeño	5	4	4
3	Forma	1	3	5
4	Diseño	3	4	5
5	Seguridad	5	4	4
6	Ergonomía	1	4	5
7	Fabricación	4	4	4
8	Montaje	4	4	5
9	Uso	5	4	4
Total 1			3.97	4.27
10	Mantenimiento	5	4	4
11	Costo de Fabricación	4	5	3
12	Costo de Tecnología	4	5	3
13	Costo de Mantenimiento	4	4	3
14	Costo de Desecho	3	3	3
Total 2			4.25	3.25

Tabla A9. Resumen de tabla A8.

	Total 1	Total 2	Promedio
Sol 1	3.97	4.25	4.11
Sol 2	4.27	3.25	3.76

Tabla A10. Gráfica x-y



Como se puede apreciar en la tabla A10, la solución 1 es la más cercana al punto (5,5) por lo que es la solución óptima para el caso de regulación de temperatura. Es decir, la mejor solución es usar un **calefactor fijo junto a un circuito de control y de potencia** para controlar que la temperatura se encuentre en el rango deseado.

Pese a que la solución 2 (calentador con termostato) ofrece ciertas ventajas como la posibilidad de seleccionar la temperatura de regulación manualmente y de solo ser un bloque; es decir, es más compacto y ofrece mejor ergonomía y mayor facilidad de montaje, la solución 1 termina ganando en esta comparación, debido a los siguientes factores:

- ✓ La posibilidad de seleccionar la temperatura de regulación manualmente a través de la solución 2 no ofrece mucho provecho para esta aplicación, puesto que dicho valor para el caso de crianza de paiches ya es fijo y es igual a 28.5 grados, no necesita ser cambiado. Esto hace que ambas soluciones sean iguales desde el punto de vista funcional.
- ✓ La solución 2 al ser un bloque aparte, impide su integración al sistema de control global. Esto hace que no podamos tener los valores de temperatura para poder procesarlos y por ejemplo mostrarlo mediante

indicadores luminosos. Por lo que se pierde la integración de la parte de control de temperatura del sistema global.

- ✓ La solución 1 es más económica y facilita el mantenimiento, puesto que las partes están separadas y es más fácil su inspección para detectar cual es el componente que está fallando y conseguir uno nuevo para que el sistema no se vea afectado.

Se incluye la bibliografía en la parte final.



ANEXO 3. Evaluación Técnica Económica de Medición del Nivel del Tanque

Solución 1: Sensor de agua analógico



Imagen A1. Sensor de agua para Arduino [8]

Solución 2: Sensores de nivel (interruptores flotadores)

Solución 3: Sensor Ultrasónico hc-sr04



Imagen A2. Sensor de Ultrasonido [9]

Tabla A11. Evaluación técnica-económica para medición de temperatura

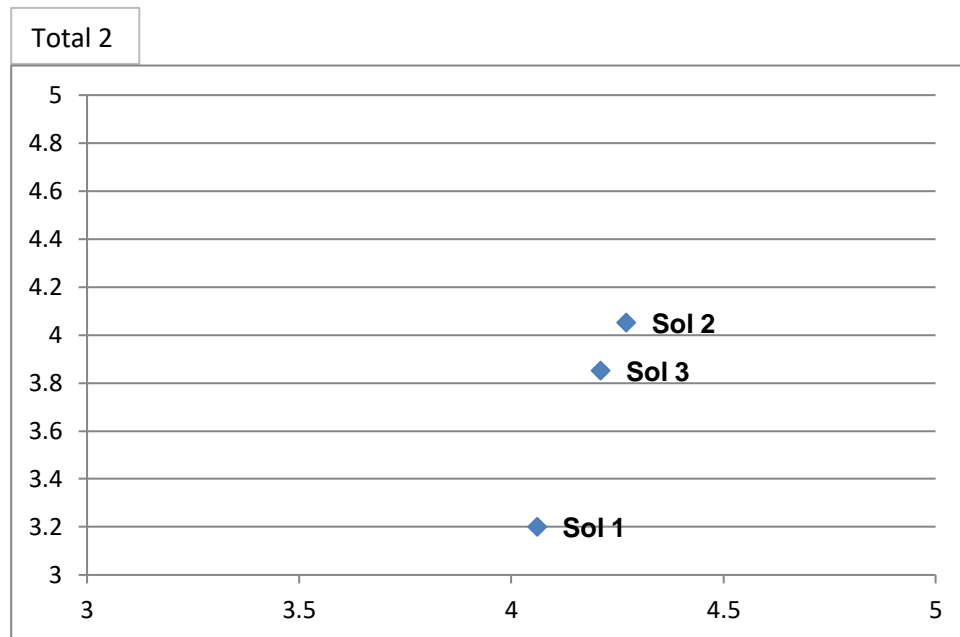
No	Propiedad Técnica y Económica		Soluciones		
	Criterio	Peso	Solución 1	Solución 2	Solución 3
1	Función	5	4	5	5
2	Desempeño	5	4	4	4
3	Forma	1	4	4	4
4	Diseño	3	5	5	5
5	Seguridad	5	3	5	4
6	Ergonomía	1	4	4	3
7	Fabricación	4	4	4	4
8	Montaje	4	5	3	4
9	Uso	5	4	4	4
Total 1			4.06	4.27	4.21

10	Mantenimiento	5	3	4	4
11	Costo de Fabricación	4	4	4	4
12	Costo de Tecnología	4	4	5	5
13	Costo de Mantenimiento	4	2	4	3
14	Costo de Desecho	3	3	3	3
Total 2			3.2	4.05	3.85

Tabla A12. Resumen de la tabla A11.

	Total 1	Total 2	Promedio
Sol 1	4.06	3.2	3.63
Sol 2	4.27	4.05	4.16
Sol 3	4.21	3.85	4.03

Tabla A13. Gráfica x-y



Como se puede ver en la tabla A13, la solución 2 es la mejor para la medición del nivel de agua en el tanque para la crianza de alevines de paiche.

La solución 1 usaba un sensor sumergible con los tres pines ligeramente encima de la superficie del agua, el cual tenía un rango de medición del nivel de agua de 4cm, esto era suficiente para nuestros propósitos. Sin embargo, el hecho de que este expuesto al medio ambiente todo el tiempo lo hace muy frágil, cualquier salpicada de agua bastaría para que deje de funcionar correctamente. La solución 3 estuvo muy cerca de la 2, el factor que no le permitió ganar fue el hecho de que el sensor hc-sr04 también debe estar expuesto al medio ambiente, por lo que requeriría mayor mantenimiento. Al estar a aproximadamente 10 cm del agua, existe la posibilidad de que se moje y esto impida su correcto funcionamiento.

La solución 2 al utilizar dos boyas tipo interruptor flotador no ocasiona ningún inconveniente. Solo debe hacerse dos perforaciones en un extremo del tanque para poder ubicarlas y automáticamente funcionarán como interruptores cada que el nivel del agua esté a su altura.



Imagen A3. Sensor de nivel interruptor flotador [11]

Entre sus principales características tenemos las siguientes:

- ✓ Soporta hasta 100Vdc de voltaje.
- ✓ Soporta hasta 0.5 A de corriente.
- ✓ Temperatura de operación: -10°C hasta 85°C.
- ✓ Se puede usar en agua, aceite y sustancias químicas.
- ✓ Soporta hasta 0.2MPa de presión

Se presenta la bibliografía en la parte final.

ANEXO 4. Teoría de Control

Para el presente objeto de estudio se utilizará el modelo de planta de sensor, actuador y controlador, como se puede ver en la siguiente figura:

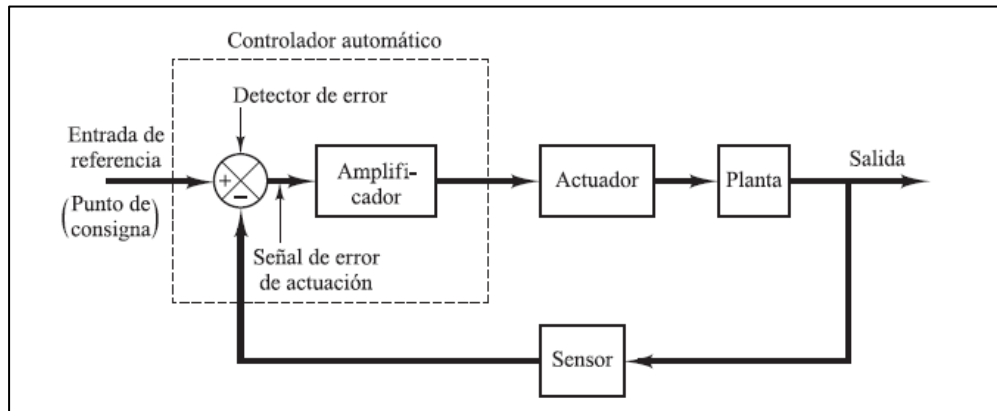


Imagen A4. Diagrama de bloques del sistema de control [14].

Sabemos que existen diversos algoritmos de control. Entre ellos destacan los siguientes:

- ✓ Control de dos posiciones o control on/off.
- ✓ Control proporcional
- ✓ Control PID

Para el presente objeto de estudio es suficiente emplear un control on/off, ya que las variables a controlar, temperatura y pH, son de respuesta lenta. Esto significa que su variación a través del día es lenta y por lo tanto un control simple, barato y preciso será el de dos posiciones.

Su funcionamiento se puede resumir en la siguiente imagen:

$$\begin{aligned} u(t) &= U_1, & \text{para } e(t) > 0 \\ &= U_2, & \text{para } e(t) < 0 \end{aligned}$$

Imagen A5. Funcionamiento del algoritmo de control on/off [14].

$u(t)$ = señal de salida del controlador (entrada al actuador)

$e(t)$ = señal de error (entrada al controlador)

De esta manera, dependiendo del error, la señal de salida del controlador podrá tomar dos posibles valores. Será U_1 si el error es mayor que cero y será U_2 si el error es menor a cero.

A continuación se muestra el diagrama de bloques del controlador on/off:

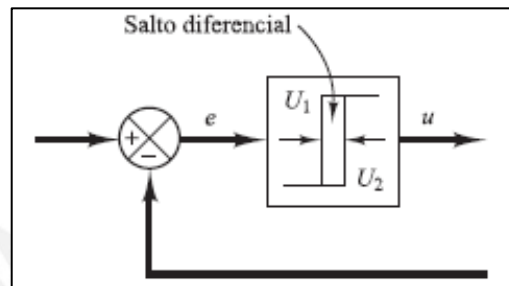


Imagen A6. Diagrama de bloques de un controlador con salto diferencial [14].

Este salto diferencial nos permite obtener un mejor funcionamiento del sistema. Gracias a la histéresis se evita una operación muy frecuente del mecanismo de encendido/apagado.

Por ello, se usaran ciclos de histéresis para los actuadores de temperatura y de pH.

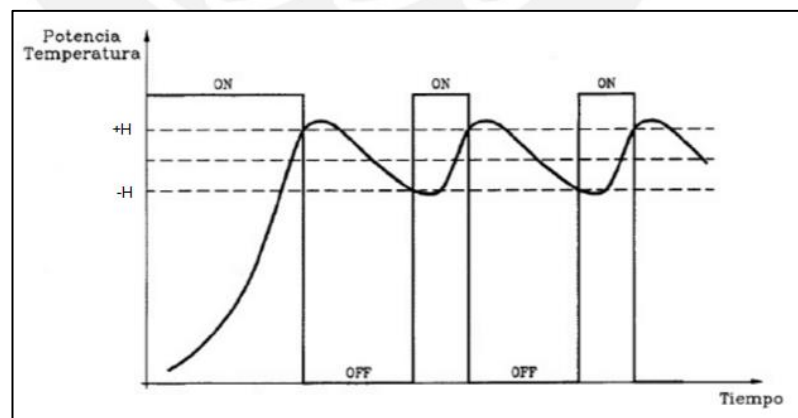


Imagen A7. Control on/off con Histéresis [15].

El la imagen A7 se puede apreciar el funcionamiento de un control on/off con histéresis. Muestra el caso de la variable temperatura. El funcionamiento es simple, si el sensor de temperatura detecta un valor menor al umbral inferior

(-H en la imagen A7) entonces el controlador entregará un ON a su salida y esto encenderá al calefactor. Para que el calefactor se apague (OFF), la temperatura deberá superar no solo el valor umbral inferior, sino que también el superior (+H en la imagen A7). Así para el caso de temperatura – H será igual a 27.5°C y +H será igual a 29.5°C.

Este mismo principio de funcionamiento se aplica para el caso de pH. Lo único que cambia son los valores del eje Y. Para este caso tenemos dos situaciones: para pH bajo y para pH alto.

Para el caso de pH bajo, el valor umbral inferior será 6.5 y el superior 7.0, de esta manera los actuadores (válvulas solenoides) se encenderán cuando el pH sea menor a 6.5 y se apagarán cuando este supere el valor de 7.

Para el caso de pH alto, el funcionamiento es similar. Ahora, el valor umbral superior será 7.5 y el inferior será 7. De este modo, las válvulas solenoides empezarán a actuar cuando el valor de pH supere 7.5 y se apagarán cuando este disminuya por debajo de 7. En este caso la señal de control on/off será la negada de la que aparece en la imagen A7.

ANEXO 5. Teoría de pH

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una sustancia, este puede variar de 0 a 14. Un pH igual a 7 indica que la solución es neutra, uno menor a 7 indica que es ácida y uno mayor a 7 indica que es básica. Numéricamente el pH indica la concentración de iones de hidrógeno y se expresa en logaritmo para apreciarlo mejor. Por ejemplo, una sustancia con pH igual a 3 es 10 veces más ácida que una sustancia con pH igual a 4.

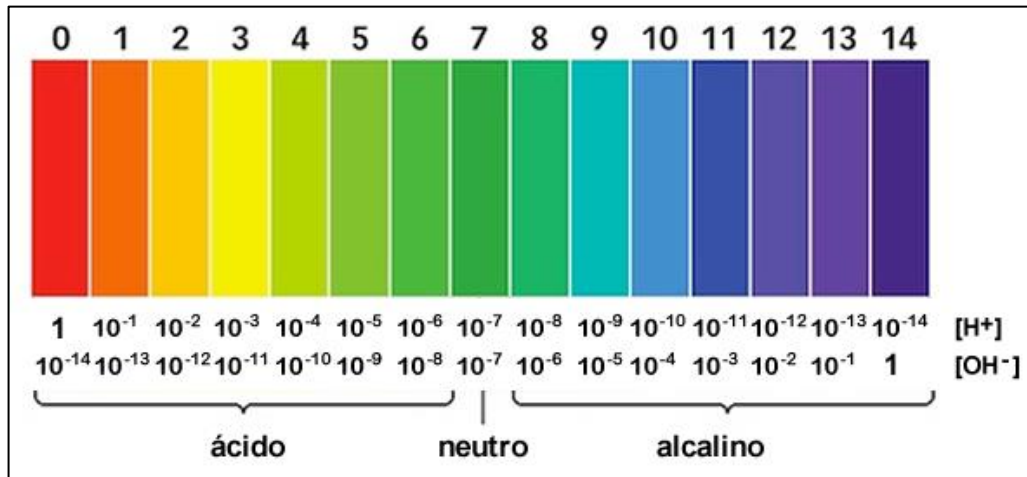


Imagen A8 [16].

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

Fórmula A1 [16].

De esta manera, en una solución alcalina ($pH > 7$), la concentración de iones de hidrógeno es muy baja, mientras que en una ácida, es alta.

ANEXO 6. Principio de Bernoulli y principio de Torricelli

$$Q = C \cdot \sqrt{2g\Delta h} \cdot D^2 \frac{\pi}{4} \dots\dots(\text{Fórmula A2})$$

Q: Caudal en m³/s

Δh : Diferencia de altura

D: Diámetro de tubería

C: Coeficiente de descarga

g: gravedad

Esta fórmula es una aplicación del principio de Bernoulli y del principio de Torricelli. Puesto que lo único que establece es que el caudal de un fluido (m³/s) es igual a la velocidad de mismo (m/s) por el área de la sección que atraviesa (m²). Además, se le debe adicionar una constante C (coeficiente de descarga) para tomar en cuenta las pérdidas.

La velocidad vendría a ser el término de la raíz cuadrada $\sqrt{2gh}$ y el área es el término del diámetro D y de π ($D^2 \times \pi / 4$).

ANEXO 7. Código Arduino

A continuación se puede ver el código usado para la programación en Arduino.

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define pHSensorPin 0
// Entrada Analogica A0 del arduino sera destinada para el sensor de pH
#define Pin_Temp_Sensor 2
// Pin donde se conectará la DATA de Temperatura (Pin Digital 2)

OneWire ourWire(Pin_Temp_Sensor);
//Se establece el pin declarado como bus para la comunicación OneWire

DallasTemperature sensors(&ourWire);
//Se instancia la librería DallasTemperature
```

Como se puede ver, primero se definen las librerías usadas por el sensor de temperatura: OneWire y DallasTemperature.

A continuación se definen todas las variables a usar en el programa:

```
float Temp_Centig = 0; // Temperatura en centigrados
float pHValue = 0; // Valor de pH
unsigned long int avgValue; // avgValue almacenara el valor promedio de las mediciones de pH
int buf[10], temp = 0; // en buf[] se almacenaran los 10 valores medidos de pH
//temp es una variable temporal
int Sensor_Sup = 0; // Almacenara el estado del sensor de nivel superior del tanque
int Sensor_Inf = 0; // Almacenara el estado del sensor de nivel inferior del tanque
int Flag_Up = 1; //inicializo bandera de llenado del tanque
int Flag_Down = 0; // inicializo bandera de vaciado del tanque
int Estado_Calefac = 0; //inicializo estado calefactor apagado
int Flag_Bajo_pH = 0; // inicializo nivel pH OK
int Flag_Alto_pH = 0; // inicializo nivel pH OK
```


Se define la función cambiar agua:

```
void CambiarAgua()
{
    if((Sensor_Sup == LOW) && (Flag_Up == 1))
    {
        digitalWrite(5, HIGH); //activo valvula Superior
    }
    else
    // entra a else cuando el nivel del agua llega al limite superior (Sensor_Sup == HIGH)
    {
        digitalWrite(5, LOW); //desactivo valvula Superior
        Flag_Down = 1; //ahora activo el Flag_Down para que pase a vaciarse el tanque
        Flag_Up = 0;
    }

    if((Sensor_Inf == LOW) && (Flag_Down==1))
    {
        digitalWrite(6, HIGH); //activo valvula Inferior
    }
    else
    // entra a else cuando el nivel del agua llega al limite inferior (Sensor_Inf == HIGH)
    {
        digitalWrite(6, LOW); //desactivo valvula Inferior
        Flag_Up = 1; //ahora activo el Flag_Up para que pase a llenarse el tanque
        Flag_Down = 0;
    }
}
```

Habrá dos posibles estados en esta funci3n:

Estado 1:

- Flag_Up = 1
- Flag_Down = 0
- Esto significará que se est  llenando el tanque B de crianza de alevinos de paiche.

Estado 2:

- Flag_Up = 0
- Flag_Down = 1
- Esto significará que se est  vaciando el tanque B de crianza de alevinos de paiche.

A continuación se definen las entradas/salidas y los 9600 baudios:

```
void setup()
{
  pinMode(2, INPUT);      // Sensor Temperatura
  pinMode(3, OUTPUT);     // Indicador Luminoso de Temperatura
  pinMode(4, OUTPUT);     // Indicador Luminoso de pH
  pinMode(5, OUTPUT);     // Valvula Solenoide Superior 1/4"
  pinMode(6, OUTPUT);     // Valvula Solenoide Inferior 1/4"
  pinMode(7, INPUT);      // Sensor Nivel Superior
  pinMode(8, INPUT);      // Sensor Nivel Inferior
  pinMode(9, OUTPUT);     // Calefactor Electrico Resistivo

  Serial.begin(9600);
  sensors.begin(); //Se inician los sensores Temperatura
  Serial.println("Ready"); //Probando el Monitor Serial
}
```

Ahora se define la función principal o loop():

```
void loop()
{

  // Lectura Sensor Temperatura y Calentador

  sensors.requestTemperatures();
  //Prepara el sensor de Temperatura para la lectura

  Temp_Centig = sensors.getTempCByIndex(0);
  Serial.print(Temp_Centig);
  //Se lee e imprime la temperatura en grados Celsius con 2 puntos decimales
  Serial.println(" grados Centigrados");
}
```

```

if(Temp_Centig < 27.5)
{
    digitalWrite(3, HIGH);
// Para indicar que el nivel de Temperatura esta fuera del rango permitido
}
else
{
    digitalWrite(3, LOW);
// Temperatura esta en el rango deseado, apago LED
}

if((Estado_Calefac==0) && (Temp_Centig < 27.5))
//si el calefactor esta apagado y se detecta < 27.5 grados
{
    digitalWrite(9, HIGH); // Enciendo al calefactor
    Estado_Calefac=1;      // Indica que el calefactor esta encendido
}

if((Estado_Calefac==1) && (Temp_Centig > 29.5))
//si el calefactor esta encendido y se detecta > 29.5 grados
{
    digitalWrite(9, LOW); // Apago al calefactor
    Estado_Calefac=0;     // Indica que el calefactor esta apagado
}

```

```

// Lectura de los sensores de Nivel

Sensor_Sup = digitalRead(7);
Sensor_Inf = digitalRead(8);

if(Sensor_Sup == HIGH) // si el agua esta en su maximo nivel
{
    digitalWrite(5, LOW); //desactivo valvula Superior
}

if(Sensor_Inf == HIGH) // si el agua esta en su minimo nivel
{
    digitalWrite(6, LOW); //desactivo valvula Inferior
}

```

```

// Lectura del sensor de pH

for(int i=0;i<10;i++)
//Se almacenan 10 medidas del sensor de pH
//para tener una medida mas exacta
{
    buf[i]=analogRead(pHSensorPin);
//Arduino lee valores de 0 a 1023 (ADC de 10 bits)
    delay(10);
}
for(int i=0;i<9;i++) //ordeno de menor a mayor
{
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
        if(buf[i]>buf[j])
        {
            temp=buf[i];
            buf[i]=buf[j];
            buf[j]=temp;
        }
    }
}

avgValue=0; //Inicializo
for(int i=2;i<8;i++)
    avgValue+=buf[i];
//Tomo los 6 valores mas centrados y los promedio

```

```

pHValue=(float)avgValue*5.0/1024/6;
//convierto el Valor Analogico a Voltios
pHValue = 3.5*pHValue;
//convierto Volts a valor de pH (4*3.5 = 14)
//Recordar que este sensor de pH entregara
//como maximo 4Volts y como minimo 0V
Serial.print("    pH:");
Serial.print(pHValue,2);
Serial.println(" ");

```

```

// Analisis de pH

if(pHValue < 6.5) // si el pH es muy bajo
{
    Flag_Bajo_pH = 1; // esta bandera se usara para la histeresis de pH
    digitalWrite(4, HIGH); //Indicamos que el nivel de pH esta fuera del rango
}
else if(pHValue > 7.5) // si el pH es muy alto
{
    Flag_Alto_pH = 1; // esta bandera se usara para la histeresis de pH
    digitalWrite(4, HIGH); //Indicamos que el nivel de pH esta fuera del rango
}
else // si el pH esta en el rango optimo
{
    digitalWrite(4, LOW); //Caso contrario apago el LED
}

```

```
if((Flag_Bajo_pH == 1) && (pHValue < 7.0))
{
// Para que se apague el Cambio de Agua, el pHValue ya no debe
//superar 6.5, ahora debe superar el nuevo limite: 7.0 (histeresis)
    CambiarAgua();
}
else // Entra cuando pHValue aumente a 7.0 o un poco mas
{
    Flag_Bajo_pH = 0;
    // Ahora si podemos detener el cambio de agua, el pH ya es 7.0
}
```

```
if((Flag_Alto_pH == 1) && (pHValue > 7.0))
{
// Para que se apague el Cambio de Agua el pHValue ya no debe
//ser menor a 7.5, ahora debe ser inferior al nuevo limite: 7.0
// (principio basico de histeresis)
    CambiarAgua();
}
else // Entra cuando pHValue disminuye a 7.0 o un poco menos
{
    Flag_Alto_pH = 0;
    // Ahora si podemos detener el cambio de agua, el pH ya es 7.0
}
}
```

Fin de la función loop().

Como se ha podido ver, el código se ejecuta de manera seguida sin ninguna interrupción ni espera en ningún punto. El monitor serial se puede usar para probar el correcto funcionamiento del programa.

ANEXO 8. Simulación Simulink

A continuación en las imágenes A9 y A10 se presentan los resultados de Simulink para condiciones iniciales $h_1(0) = 40\text{cm}$ y $h_1(0) = 20\text{cm}$ según el modelo de tanques de la figura 24 del capítulo 4 del trabajo de tesis.

Recordar que h_1 representa la altura del tanque A mientras que h_2 representa la del tanque B. La altura máxima del tanque A es 60cm, mientras que la del B es de 30cm.

Para $h_1(0) = 40\text{cm}$:

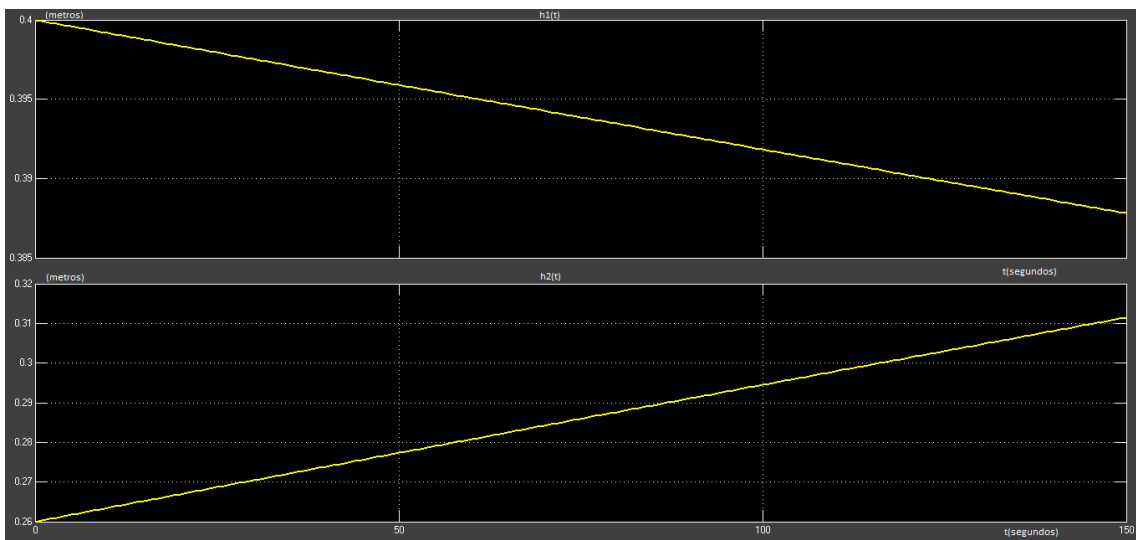


Imagen A9.

La imagen superior de A9 representa la altura del tanque A (h_1), mientras que la inferior la del tanque B (h_2).

Para este caso se puede ver en el eje X que el tanque B demorará 120 segundos en ser llenado de 26cm a 30cm (4 litros). Tiene sentido que en este caso el tiempo sea mayor al hallado con $h_1(0) = 60\text{cm}$ (76 segundos), puesto que la presión de agua ejercida por el tanque A será menor al haber menor nivel de agua inicial.

Para $h_1(0) = 20\text{cm}$:

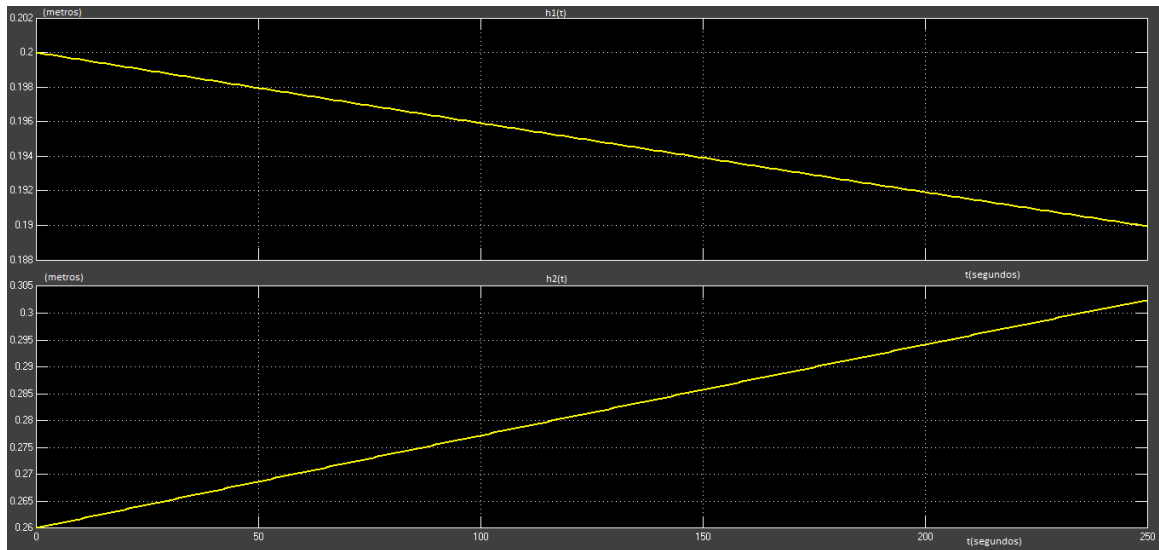


Imagen A10.

La imagen superior representa la altura del tanque A (h_1), mientras que la inferior la del tanque B (h_2).

Para este caso se puede ver en la imagen inferior en A10 que el tanque B demorará 240 segundos en ser llenado de 26cm a 30cm (4 litros). Siendo mayor al tiempo hallado para $h_1(0) = 60\text{cm}$ (76 segundos) y $h_1(0) = 40\text{cm}$ (120 segundos).

Este resultado es coherente con lo esperado, puesto que el tanque A al estar a tan solo 20 cm de capacidad (menos de la mitad de su capacidad total), la presión del agua que ejerce será menor y por lo tanto el caudal de salida del tanque A hacia el B también será menor, dando un mayor tiempo de llenado del tanque B.

ANEXO 9. Adjuntos

Adicionalmente se adjuntan las hojas de datos de los componentes usados, el diagrama esquemático Eagle y el código en Arduino.



BIBLIOGRAFÍA

Anexo 1

Referencias de costos:

[1]

Mercado Libre

Sensor DS18B20. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-420784725-sensor-temperatura-impermeable-ds18b20-para-arduino-pic- JM>

[2]

Mercado Libre

Módulo Bluetooth. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-420746775-modulo-bluetooth-hc-05-arduino-pic- JM>

[3]

Valiometro

Electrodos de pH. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.valiometro.pe/electrodos-de-ph-y-orp>

[4]

DFROBOT

Analog pH Sensor. Consulta: 02 de junio de 2018.

https://www.dfrobot.com/index.php?route=product/product&product_id=1110&search=sen0169&description=true#.V8lneZh97IW

[5]

EBAY

pH Sensor Arduino. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.ebay.com/itm/DIY-Analog-PH-Probe-Sensor-Shield-PH-Probe-Kit-For-Arduino-Aquaculture-Test-/151790967773?hash=item2357725bdd:g:E8sAAOSw~gRV2vrU>

Anexo 2

[6]

MERCADO LIBRE

CALENTADOR ACUARIO. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-420439370-calentador-de-agua-para-acuario-de-30-a-50-litros- JM>

[7]

MERCADO LIBRE

CALENTADOR TERMOSTATO ACUARIO. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-421833188-termostato-calentador-elite-mini-25-watts-peces-acuario- JM>

Anexo 3

[8]

PROMETEC

Arduino y el Sensor del Agua. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.prometec.net/sensor-agua/>

[9]

ADRIAN, Pablo

Conectar un Sensor HC-SR04 con la Tarjeta Arduino. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://quieroentrarentupagina.blogspot.pe/2014/03/conectar-un-sensor-hc-sr04-con-la.html>

[10]

MERCADO LIBRE

Sensor de Nivel De Agua Lluvia For Arduino. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-421393446-sensor-de-nivel-de-agua-lluvia-for-arduino- JM>

[11]

EBAY

Sensor Nivel Interruptor Flotador. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.ebay.com/itm/DC-220V-Liquid-Water-Level-Sensor-Right-Angle-Float-Switch-For-Fish-Tank-/172131562805?hash=item2813d73535:g:QCUAAOSwgY9Xedek>

[12]

EBAY

Sensor Nivel Interruptor Flotador. Consulta: 02 de junio de 2018.

<http://www.ebay.com/itm/Horizontal-Liquid-Water-Level-Sensor-Vertical-Float-Switch-for-Aquarium-Tank-/230911059306?hash=item35c35f256a:g:pBcAAOSw6WdXiNpD>

[13]

MERCADO LIBRE

Sensor Ultrasonido Hc-sr04. Consulta: 02 de junio de 2018.

http://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-421666335-sensor-ultrasonido-hc-sr04-_JM#redirectedFromSimilar=http%3A%2F%2Farticulo.mercadolibre.com.pe%2FMPE-421038416-sensor-ultrasonido-hc-sr04-_JM

Anexo 4

[14]

OGATA, Katsuhiko

2010 Ingeniería de Control Moderna. Quinta Edición. Lima: Pearson.

[15]

ALMACHE, Luis y Luis TOAPANTA.

Control de Temperatura On-Off con Histéresis Mediante la Utilización de un Cautín. Consulta: 02 de junio de 2018.

<https://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis>

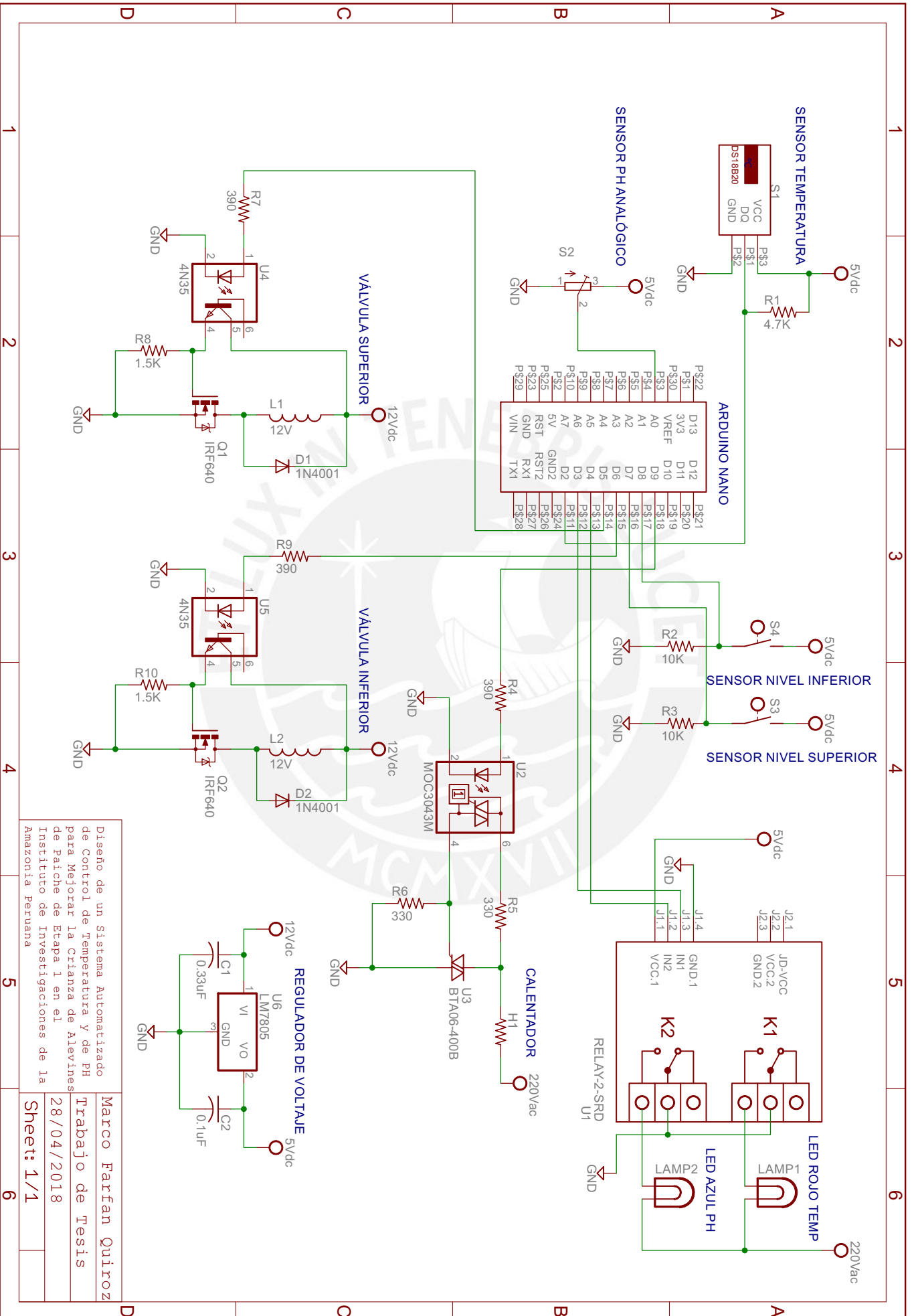
Anexo 5

[16]

Laboratorio Químico

Concepto de pH. Consulta: 02 de junio de 2018.

<https://www.tplaboratorioquimico.com/quimica-general/acidos-y-bases/concepto-de-ph.html>



Diseño de un Sistema Automatizado de Control de Temperatura y de PH para Mejorar la Crianza de Alevines de Pato en la Etapa 1 en el Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana

Marco Farfan Quiroz

Trabajo de Tesis

28/04/2018

Sheet: 1/1