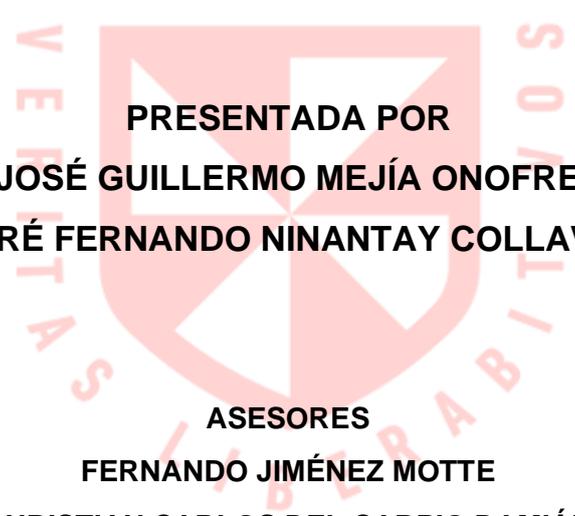


FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE
CONTROL Y MONITOREO REMOTO, ORIENTADO A LA
MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA,
OXÍGENO DISUELTO Y PH EN POZAS DE CRIANZA DE
TILAPIAS**



**PRESENTADA POR
JOSÉ GUILLERMO MEJÍA ONOFRE
ANDRÉ FERNANDO NINANTAY COLLAVINO**

**ASESORES
FERNANDO JIMÉNEZ MOTTE
CHRISTIAN CARLOS DEL CARPIO DAMIÁN**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

LIMA – PERÚ

2019



CC BY-NC

Reconocimiento – No comercial

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, y aunque en las nuevas creaciones deban reconocerse la autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE
CONTROL Y MONITOREO REMOTO, ORIENTADO A LA
MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE TEMPERATURA,
OXÍGENO DISUELTO Y PH EN POZAS DE CRIANZA DE
TILAPIAS**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

PRESENTADA POR

MEJÍA ONOFRE, JOSÉ GUILLERMO

NINANTAY COLLAVINO, ANDRÉ FERNANDO

LIMA – PERÚ

2019

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación problemática	1
1.2 Definición del problema	1
1.3 Formulación del problema	2
1.4 Objetivo general y específicos	2
1.5 Viabilidad	2
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Antecedentes de la investigación	5
2.2 Estado del arte	5
2.3 Bases teóricas	14
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	52
3.1 Materiales	52
3.2 Tabla de parámetros	59
CAPÍTULO IV: DESARROLLO	61
4.1 Bloque pictórico	61
4.2 Análisis de etapa de acondicionamiento de sensor de pH	62
4.3 Análisis de etapa de acondicionamiento de sensor de oxígeno disuelto	72
4.4 Análisis de etapa de acondicionamiento de sensor de temperatura	74
4.5 Diseño	82

4.6 Programación del proyecto	90
4.7 Diseño circuital electrónico general	98
CAPÍTULO V: PRUEBAS	100
5.1 Pruebas y validaciones del sensor de temperatura	100
5.2 Validación de pH	102
5.3 Costos e inversión total de la investigación	103
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	106
FUENTES DE INFORMACIÓN	107
ANEXOS	111

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Principales departamentos donde se cosecha tilapia	xii
Figura 2: Evolución de los cultivos de tilapia 2000-2015	xiii
Figura 3: Diseño del sistema de monitoreo	9
Figura 4: Sistema de monitorización con comunicación en la nube	10
Figura 5: Diagrama general del diseño	11
Figura 6: Arquitectura árbol zigbee del sistema de temperatura	12
Figura 7: Modelo matemático para un control <i>Fuzzy</i> PID	12
Figura 8: Estación meteorológica	13
Figura 9: Arquitectura del sistema de monitoreo	14
Figura 10: Datos del archivo excel	15
Figura 11: Ventana <i>System Identification</i> (Matlab)	16
Figura 12: Ventana <i>System Identification – Import Data</i> (Matlab)	16
Figura 13: Ventana <i>System Identification – Transfer Function Models</i> (Matlab)	17
Figura 14: Ventana <i>Transfer Functions</i> (Matlab)	17
Figura 15: Ventana <i>Plant Identification Progress</i> (Matlab)	18
Figura 16: Ventana <i>Data/model Info</i> (Matlab)	18
Figura 17: Ventana <i>PID Tuner – Step Plot</i> (Matlab)	19
Figura 18: Ventana <i>PID Tuner – Step Plot – Import Linear System</i> (Matlab)	19
Figura 19: Ventana <i>PID Tuner – Step Plot: Reference tracking</i> (Matlab)	20
Figura 20: Control ON/OFF de la bomba de agua	21

Figura 21:	Esquema interno de un <i>Resistance Temperature Detector</i> (RTD)	21
Figura 22:	Efecto en transmisión de hidrógeno según sea alcalino o ácido	23
Figura 23:	Esquema de los electrodos usados en la medición del pH	24
Figura 24:	Relación del potencial del electrodo y el pH a 25°C	27
Figura 25:	La temperatura como factor dependiente para el potencial del electrodo	28
Figura 26:	Diseño propuesto para adecuación de señal de pH	29
Figura 27:	Comunicación entre acondicionador de pH y microprocesador	30
Figura 28:	Conexión entre maestro y esclavo	30
Figura 29:	Tramas de un mensaje en I2C	32
Figura 30:	Tramas activadas para el envío de información	33
Figura 31:	Tramas activadas para la solicitud de información	33
Figura 32:	Envío y recepción en condigo de respuesta en I2C	33
Figura 33:	Diagrama de bloques de etapa de acondicionamiento	34
Figura 34:	Seguidor de voltaje ideal	35
Figura 35:	Etapa de amplificación	36
Figura 36:	Voltaje de referencia para el pH	37
Figura 37:	Diagrama filtro pasa bajo	38
Figura 38:	Estructura interna del sensor de oxígeno disuelto	40
Figura 39:	Diagrama de transferencia de calor	42
Figura 40:	Tipos de transferencia de calor	43
Figura 41:	Diagrama de bloques para el actuador	45
Figura 42:	Diagrama de subcomponentes para el actuador	45
Figura 43:	Símbolos de optoacopladores, optotriac (izquierda), optotransistor (derecha)	46
Figura 44:	Diagrama simbólico de un triac	47
Figura 45:	Circuito <i>driver</i> microcontrolador, etapa de potencia	47
Figura 46:	Diseño para optoacoplador	48
Figura 47:	Diseño para triac	49

Figura 48:	Raspberry pi 3	52
Figura 49:	Pantalla táctil Raspberry pi	54
Figura 50:	Sensor de pH atlas scientific	54
Figura 51:	Sensor de oxígeno disuelto	55
Figura 52:	Bomba de agua	56
Figura 53:	Sensor de temperatura ds18b20	57
Figura 54:	Diagrama de bloques del ds18b20	58
Figura 55:	Símbolos de optoacopladores, optotriac (izquierda), optotransistor (derecha)	58
Figura 56:	Diagrama pictórico	62
Figura 57:	Potencial de membrana de vidrio vs nivel de pH	65
Figura 58:	Circuito de acondicionamiento del sensor de pH	65
Figura 59:	Etapas de tratamiento de señal del sensor de pH	68
Figura 60:	Simulación de la etapa de amplificación	69
Figura 61:	Filtro pasa bajo	70
Figura 62:	Circuito de acondicionamiento del sensor de oxígeno disuelto	72
Figura 63:	Tabla de ejemplos para pt100 con Rref de 400 Ohms	75
Figura 64:	Diagrama de bloques del módulo max31865	76
Figura 65:	Diagrama de flujo activador resistencia eléctrica	77
Figura 66:	Medidas del diseño del prototipo	77
Figura 67:	Circuito driver microcontrolador	80
Figura 68:	MOC3042	81
Figura 69:	Triac TB137 y MOC3041	82
Figura 70:	Diseño asistido por computadora CAD del prototipo utilizando AutoCAD 3D	83
Figura 71:	Presentación Inicial del proyectado sustentado.	84
Figura 72:	Terma eléctrica instalada	84
Figura 73:	Diseño asistido por computadora CAD del módulo de control (En AutoCAD 3D e imagen del módulo)	86
Figura 74:	Circuito activador de resistencia eléctrica	88
Figura 75:	Módulos acondicionamiento de señal para Pt100	88
Figura 76:	Circuito activador de bomba de agua	88

Figura 77:	Interfaz gráfica final	90
Figura 78:	Tablas de la base de datos en PHPMyAdmin	91
Figura 79:	Diseño circuital electrónico	98
Figura 80:	Termómetro digital taylor	100
Figura 81:	Buffers de diferentes niveles de pH	102

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1: Niveles de oxígeno disuelto para la crianza de tilapias	6
Tabla 2: Niveles de temperatura para la crianza de tilapias	7
Tabla 3: Características de protocolo I2C	31
Tabla 4: Especificaciones Raspberry Pi 3 Model B	53
Tabla 5: Especificaciones pantalla táctil	54
Tabla 6: Especificaciones sensor de pH atlas scientific	55
Tabla 7: Especificaciones sensor de oxígeno disuelto	56
Tabla 8: Especificaciones de la bomba de agua	56
Tabla 9: Especificaciones MOC3041	58
Tabla 10: Parámetros divididos por etapas	59
Tabla 11: Potencial de membrana de vidrio del sensor de pH en relación con el nivel de pH	64
Tabla 12: Sumatoria de voltaje de referencia con el voltaje del sensor de pH según niveles de pH	67
Tabla 13: Voltaje de salida de la etapa de acondicionamiento del sensor de pH según niveles de pH	71
Tabla 14: Variables de la base de datos	90
Tabla 15: Mediciones de temperatura	101
Tabla 16: Variables para hallar el coeficiente <i>Pearson</i>	101
Tabla 17: Mediciones de pH del buffer pH=7	102

Tabla 18:	Mediciones de pH del buffer pH=4	102
Tabla 19:	Mediciones de pH del buffer pH=10	103

RESUMEN

En la presente tesis, se plantea un prototipo electrónico de control y monitoreo de parámetros, tales como temperatura, pH y oxígeno disuelto, basado en el lenguaje de programación Python. Esto permite un eficiente monitoreo de la calidad de agua en pozas para crianza de tilapias. Está orientada a contribuir con el desarrollo de tilapias mediante los parámetros controlados como la temperatura y el oxígeno disuelto en pozas de crianza a escala con los que, se pretende el desarrollo tecnológico en el sector acuícola en el país.

Palabras claves: Electrónico, oxígeno disuelto, temperatura, pH, tilapias, pozas de crianza, acuícola.

ABSTRACT

This current thesis determines an electronic control prototype and parameter monitoring, such as temperature, ph and dissolved oxygen, based on Python programming language. This provides an efficient monitoring of the water quality from the ponds assigned for tilapia farming. This is orientated to contribute on the development of the tilapia through controlled parameters such as temperature and dissolved oxygen in escalated farming ponds that is intended to benefit the national technological development in the aquaculture sector.

Keywords: Electronic, dissolved oxygen, temperature, ph, tilapia, farming ponds, aquaculture

NOMBRE DEL TRABAJO

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO ELECTRÓNICO DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO, ORIENTADO A LA MEDICIÓN DE PAR

AUTOR

NINANTAY COLLAVINO, ANDRÉ / MEJÍA ONOFRE, JOSÉ GUILLERMO

RECuento DE PALABRAS

18702 Words

RECuento DE CARACTERES

102544 Characters

RECuento DE PÁGINAS

127 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.3MB

FECHA DE ENTREGA

Nov 28, 2022 1:21 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 28, 2022 1:23 PM GMT-5

● **20% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 14% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Biblioteca FIA

Juana Chunga Rodríguez
Bibliotecóloga

INTRODUCCIÓN

Según los investigadores, la tilapia se introdujo en nuestro país en la década de 1960 como forraje (un pez de bajo valor comercial y ejemplares grandes) para el paiche. Actualmente se cultiva en muchas regiones del Perú; Sin embargo, la mayor producción se dan en los departamentos de Piura (67%) y San Martín (27%).

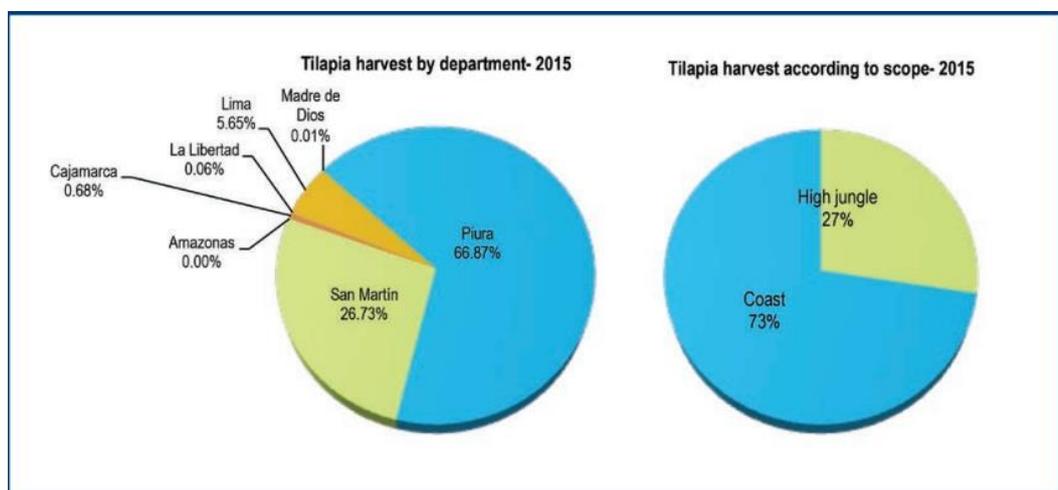


Figura 1: Principales departamentos donde se cosecha tilapia

Fuente: PRODUCE - Registro nacional del artesano

“La actual producción de tilapia es subestimada por las estadísticas oficiales debido a que existe una alta informalidad en el sector, especialmente en las áreas de la amazonía” destacan los investigadores. Ellos reportan que la mayor producción de 4610 toneladas se registró en el año 2014, y la tasa

de crecimiento anual de producción de la tilapia fue de 7.2% en el período de 2007 al 2015.

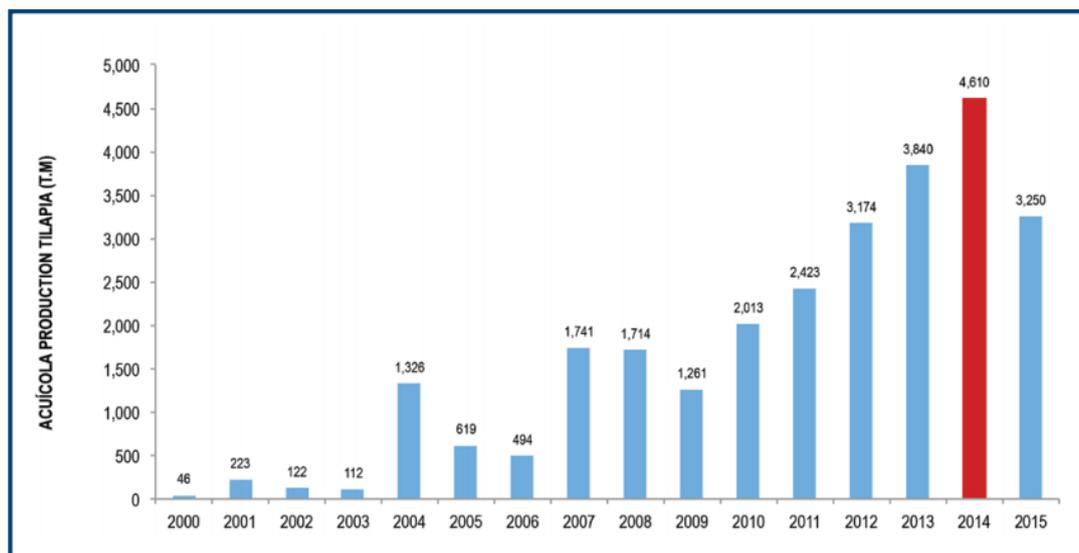


Figura 2: Evolución de los cultivos de tilapia 2000-2015

Fuente: Red nacional de información acuícola – RNIA, 2016

“Para el año 2015, el Ministerio de la Producción registró 389 establecimientos acuícolas formales, donde el 58% están en la categoría de subsistencia, 39% de pequeña escala, 1% a gran escala, 0.8% orientada a la producción de semilla y 0.5% a pequeña escala con producción de semilla”.

La acuicultura de tilapia en el Perú, de acuerdo con la publicación, genera 2169 empleos directos y 5145 empleos indirectos. Considerando que cada empleo puede sostener en promedio tres personas dependientes, los investigadores estiman que la acuicultura formal de tilapia sostiene a alrededor de 30000 personas.

Considerando la actual área de producción, la tasa de crecimiento de producción de tilapia y la tasa de crecimiento de la acuicultura peruana, los investigadores proyectan que para el 2025 la producción de tilapia en el Perú podría alcanzar las 6500 toneladas, en un escenario conservador. Ellos destacan que un cambio en la normativa podría expandir las áreas de producción en la Amazonía, con lo cual la producción de tilapia podría dispararse a las 27 000 toneladas para el año 2025. (Baltazar et al., 2018).

Al observar estos hechos se tomó la decisión de desarrollar un prototipo electrónico orientado a la medición de diferentes parámetros, en este caso en las pozas de crianza de tilapias. Los tres parámetros a monitorear son lo más importantes en relación de la calidad de agua como la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto, cualquiera de los anteriores parámetros si se encontrase fuera de un rango específico, afectaría en gran medida al desarrollo de las tilapias.

La presente tesis comprende cinco (5) capítulos. El primero aborda sobre el planteamiento del problema; el segundo trata sobre el marco teórico. En el tercero, se presenta la metodología que se aplicó en la tesi; en el cuarto, se analiza el correcto desarrollo del trabajo. Y en el quinto capítulo, se comprueban las pruebas tomadas por los diferentes sensores.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

El desarrollo tecnológico, en nuestro país, está retrasado debido a la poca inversión. En la actualidad, el país no aparece en el cuadro de tecnología e innovación y sobre todo en los sectores de agricultura, acuicultura, etc. Carecen de sistemas de control para realizar distintas mediciones tales como temperatura, pH y oxígeno disuelto, generando una producción semiautomatizada y si hubiera el caso que existan empresas para implementar este tipo de desarrollo de control, ofrecen un alto precio, debido a que usan sensores robustos y una diversidad de variables a controlar, en algunos casos no tan importantes.

Por el cual, los productores acuícolas necesitan ciertos parámetros puntuales, deseando disminuir los costos.

1.2 Definición del problema

En el Perú, en los diferentes sectores productores como agricultura, ganadería y acuícola requieren de sistemas integrales automáticos para tener un control eficiente en las variables físicas para una cosecha o crianza de alta calidad a fin de competir con países tecnológicamente avanzados y evidenciar una producción de calidad.

1.3 Formulación del problema

¿De qué manera el desarrollo de un prototipo electrónico de control y monitoreo en la estabilización de parámetros de la calidad del agua para la crianza de tilapias ayudará en un mejor control para la producción de tilapias?

1.4 Objetivo general y específicos

1.4.1 Objetivo general:

Desarrollar un prototipo electrónico de control y monitoreo remoto que pueda estabilizar los parámetros más importantes que determinen la calidad de agua los cuales son la temperatura, el pH y el oxígeno disuelto para la crianza de tilapias en pozas del sector acuícola.

1.4.2 Objetivos específicos:

- Diseñar el prototipo para el control y monitoreo remoto de los parámetros propuestos y actuadores.
- Elegir sensores de temperatura, pH y oxígeno disuelto para un mejor sistema integrado.
- Elegir microcontrolador para el diseño del algoritmo, digitalización de las señales eléctricas adquiridas por los sensores seleccionados.
- Mantener la temperatura al interior de la poza entre 18°C a 30°C.
- Mantener el oxígeno disuelto al interior de la poza entre 4mg/L a 11mg/L.
- Desarrollar un software para una base de datos apropiada y amigable para los usuarios y ser visualizado a través de una pantalla táctil.

1.5 Viabilidad

1.5.1 Viabilidad técnica

El diseño por realizar es viable técnicamente, porque gran parte de los dispositivos a utilizar en la implementación del diseño se encuentran en el mercado peruano, y los sensores de pH y oxígeno disuelto que se requerirá adquirir mediante vía web.

Se cuenta con las técnicas y conocimientos necesarios en electrónica sobre cada proceso específico para la solución de los diversos problemas a nivel de hardware y software, tales como diseñar circuitos electrónicos para el acondicionamiento de las señales de activación y desactivación de diversos actuadores, así como crear un algoritmo en el microprocesador para recibir información de los sensores y transmitir la señal de activación de acuerdo con los requerimientos del sistema. En dicho programa también se consideró la etapa de monitoreo para visualizar los parámetros para el desarrollo de nuestro diseño, por lo cual con los conocimientos aprendidos en los diferentes cursos de procesamiento digital de señales, circuitos electrónicos, arquitectura de computadoras es fundamental.

1.5.2 Viabilidad económica

El diseño electrónico que se pretende desarrollar requiere de sensores especializados para el monitoreo y control por lo cual su adquisición es mediante importación ya que en el Perú, no son fabricados.

En consecuencia, se estima que el diseño a realizar tiene un costo de s/3,500.00 soles aproximadamente, que será financiado por nuestra propia cuenta comprometiéndonos a comprar todo lo necesario para mostrar el producto final y en la actualidad existe mercado potencial donde el diseño a desarrollar tiene una variedad de aplicaciones en el sector acuícola.

1.5.3 Viabilidad social

El diseño propuesto, no afecta a la persona, la ecología ni a los peces de agua continental, al realizar un control y monitoreo en criadero de peces acuícolas hacen una contribución positiva al medio ambiente y esto a su vez a todos lo que trabajan en el sector acuícola y mejora la calidad de vida de toda una población.

1.5.4 Viabilidad operativa

El desarrollo del prototipo está considerado, para que realice un monitoreo para el control de los parámetros de la calidad del agua propuestos, para mantener un hábitat de las tilapias idóneo.

También es viable operativamente, porque el sistema de control es de accesible instalación en las pozas ya que estará en un área no hostil; requiere de conexión eléctrica y conectividad ethernet.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

La contribución de la acuicultura a la pesquería mundial sigue en crecimiento. En el sector de producción animal, el sector acuícola es el que presenta mayor crecimiento en producción. En el Perú, se cuenta con las condiciones climáticas necesarias para el desarrollo del cultivo de peces. Son estas las razones por las cuales, existen infinitas especies acuáticas en nuestro país, lo que se debe aprovechar al máximo. Cabe señalar que la acuicultura a pequeña escala, es una actividad en crecimiento.

Uno de los puntos más importantes de la acuicultura es la calidad del agua de las pozas de crianza. Se dice que el agua es de buena calidad cuando contiene niveles apropiados de temperatura, pH, oxígeno disuelto, etc. Estos parámetros para el cultivo de tilapias son generalmente suficientes para gestionar eficazmente la calidad de agua en las pozas de crianza como se menciona en el programa diseño “Transferencia de tecnología en acuicultura para pescadores artesanales y comunidades campesinas” del Ministerio de Producción del país.

2.2 Estado de arte

Para un eficiente y eficaz cultivo de tilapia, se debe controlar y monitorear los parámetros físicos y químicos más importantes para la calidad de agua, tal como el oxígeno disuelto que es un indicador importante de la calidad del agua. De acuerdo con los estudios las tilapias pueden soportar baja concentración de oxígeno disuelto pero si se mantiene esta

concentración de nivel de oxígeno (<4.5 mg/L) se presentan efectos en su desarrollo y mueren.

Tabla 1. Niveles de oxígeno disuelto para la crianza de tilapias

OXÍGENO (mg/L)	EFFECTOS
0.0 – 0.3	Peces pequeños sobreviven en cortos periodos
0.3 – 2.0	Letal a exposiciones prolongadas
3.0 – 4.0	Sobreviven, bajas tasas de crecimiento
>4.5	Favorece al crecimiento del pez

Fuente: Manual de cultivo de Tilapia en el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero. (Baltazar & Palomino, 2004).

Como se muestra en la tabla 1, el oxígeno disuelto no debe mantenerse en valores por debajo de 3mg/L, por lo que si los productores notan lecturas en estos niveles, tomarán medidas correctivas utilizando los dos métodos: remoción e introducción parcial de agua en la poza o por medio del movimiento del agua con aireadores especialmente contruidos para el efecto (paleta o compresoras).

En la actualidad, la medición del oxígeno disuelto en las pozas requiere de equipo multiparámetro que normalmente son de alto costo; por lo cual los acuicultores en la actualidad para verificar el bajo nivel de oxígeno disuelto es a través de su experiencia verificando diferentes signos como por ejemplo:

- Olor fétido provenientes del fondo del estanque.
- La claridad del estanque es muy baja, hay muchas algas (agua verde) que provocan un alto consumo de oxígeno por la noche o en días nublados.
- Los peces se encuentran boqueando o del lado del ingreso de agua nueva.

La temperatura es otro parámetro importante para una calidad de agua para el cultivo de tilapias ya que este parámetro es decisivo por tratarse de animales poiquiloterms. Para el cultivo de tilapias se debe en tomar en

cuenta que esta especie prefiere temperatura elevada es por tanto uno de los factores ambientales que hay que tener en cuenta.

Tabla 2. Niveles de temperatura para la crianza de tilapias

TEMPERATURA (°C)	EFFECTOS
10<	La tilapias tienden a morir
18 – 30	Rango natural de crianza

Fuente: Manual de cultivo de Tilapia en el Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (Baltazar & Palomino, 2004).

El último parámetro importante es el pH, el cual ayuda a medir el grado de alcalinidad y acidez del agua, en la cual oscila entre 1 a 14. Cuando el nivel de pH es bajo se denominado como “estrés ácido” y este se manifiesta por la acumulación excesiva de mucus en los tejidos de las branquias causando estrés respiratorio. Los valores máximos y mínimos del pH, 11 y 4, se produce la muerte, el rango de pH deseado en el cultivo de tilapia es de 6.5 a 9 de pH.

Existen otros parámetros denominados compuestos nitrogenados, que en grandes cantidades son perjudiciales. Entre ellos, los nitratos y el amonio son las formas tóxicas del nitrógeno. Concentraciones de estos compuestos nitrogenados daña las branquias e incrementa las enfermedades.

Actualmente, la producción acuícola ha tenido importantes avances tecnológicos en estos últimos años, lo que ha llevado a un incremento en la producción total de las tilapias. Los sistemas de control y monitoreo digitalizados se utilizan con frecuencia en los países más desarrollados con sistemas de criaderos de tilapia, regulando el tratamiento de la calidad del agua y controlando los factores ambientales que afectan a la crianza de las tilapias.

2.2.1 Publicaciones científicas/Ingenieriles

2.2.1.1 “Sistema automatizado para el control y monitoreo del comportamiento de alevinos de paiche en cautiverio”(Publicación)

Pinedo et al. (2017), en la publicación titulada “Sistema automatizado para el control y monitoreo del comportamiento de alevinos de paiche en cautiverio” en el repositorio de la Universidad Privada de Pucallpa. Los sistemas de control y monitoreo de los parámetros para la calidad del agua se basan en la utilización de diferentes software, hardware y se basó en un monitoreo de los parámetros de pH, oxígeno disuelto, temperatura, conductividad eléctrica y siendo su mayor aporte el diseño de una base de datos programado en MySQL, que en relación a nuestro diseño utilizaremos una base de datos en Mysql con interfaz *phpmyadmin* que es software igual o de mayor eficiencia para almacenamiento de datos.

2.2.1.2“Automated aquaculture system that regulates Ph, temperature and ammonia”(Paper)

A. D. M. Africa, J. C. C. A. Aguilar, C. M. S. Lim, P. A. A. Pacheco and S. E. C. Rodrin (2017), en la publicación titulada "Automated aquaculture system that regulates Ph, temperature and ammonia," en la IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM).

Del país de Filipinas, que en la actualidad es uno de los países desarrollados tecnológicamente en sector acuícola. El mencionado *paper* es de profunda investigación basado entre las alteraciones de los parámetros a monitorear en cómo influye valores de parámetros fuera del rango de hábitat y cómo reaccionan los otros parámetros monitoreados y verificar el comportamiento Físico-Químico en el hábitat de crianza y esto a su vez realizando la recepción los datos a través de LabVIEW y una vez procesado la información si los valores se encuentra fuera del rango establecido tienen un sistema de banderas de alerta realizando automáticamente medidas correctivas contra los niveles dañinos de pH, temperatura, oxígeno disuelto y amoníaco mediante notificación al usuario a través de SMS, en relación a nuestro prototipo electrónico a desarrollar se coincide que una de las maneras de controlar los parámetros de la calidad del

agua es mediante envío de mensaje de texto (SMS) al acuicultor para tomar acciones correctivas.

2.2.1.3 “Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la pucp”(Tesis)

Dulanto, L. (2011), en la Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico: Pontificia Universidad Católica del Perú. Titulada “Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP” utilizan un sistema de comunicación basado en ethernet integrada con conmutadores, aplicado al estanque de peces y con comunicación punto a multipunto desde el servidor hacia los ordenadores que soliciten la información, en comparación al diseño que se desarrollará se implementará el sistema de comunicación a través del Raspberry pi 3 con interfaz amigable para el usuario.

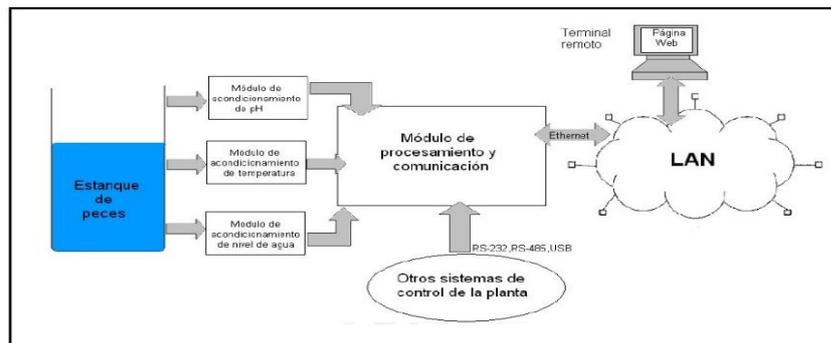


Figura 3. Diseño del sistema de monitoreo

Fuente: Dulanto, L (2011). Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP

2.2.1.4 “Design and improvement of wireless crayfish breeding system by controlling water temperature and monitoring pH via cloud system services”(Paper)

Photsathian, T., Suttikul, T., & Tangsrirat, W. (2018). En la publicación titulada “Design and improvement of wireless crayfish breeding system by controlling water temperature and monitoring pH via cloud system

services”. En el 2018, 3rd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE).

Existen diseños orientados a diferentes cultivo de especies como por ejemplo la crianza de cangrejo en la que monitorea y controla la temperatura en relación al pH lo monitorea, que de acuerdo al *paper* son parámetros importantes para el desarrollo del cangrejo, monitorear el nivel de pH verificando que se encuentre en rango 6.5 y 7.5 y para mantener la temperatura del agua entre 23.9°C y 24.1°C utiliza celda *peltier* utilizando como microcontrolador el Arduino IDE.

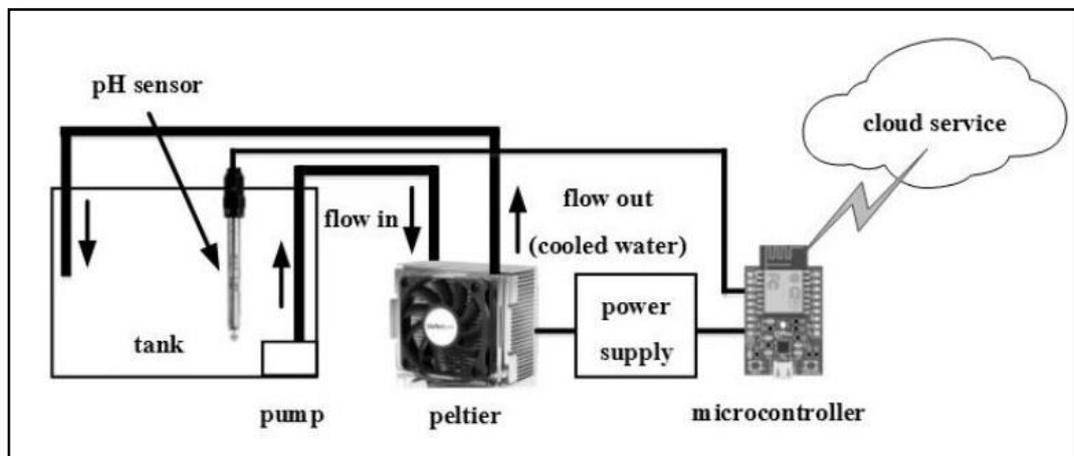


Figura 4. Sistema de monitorización con comunicación en la nube

Fuente: Photsathian & Suttikul, (2018). Diseño y Mejora del Sistema Inalámbrico de Cría de Cangrejos de Río mediante el control de la temperatura del agua y la monitorización del pH a través de los Servicios del Sistema de Nube

2.2.1.5 “Control y Monitorización de un acuario en tiempo real mediante tecnología *open source*” (Publicación)

Lapiente, V. (2015). En la Universidad de Zaragoza se publicó “Control y monitorización de un acuario en tiempo real mediante tecnología *open source*” el diseño permite integrar el microprocesador Raspberry para el monitoreo y control de la información necesaria obtenida por varios sensores, utilizando la *Graphical User Interface* (GUI) seleccionada por el puerto serie junto con los sensores de fugas de agua, sensor de

temperatura, sensor de pH y el sensor de electro conductividad, el grupo de sensores incluye varias funciones sensitivas y de comunicación inalámbrica, los cuales permiten formar redes ad hoc sin infraestructura física preestablecida y con aplicación web.

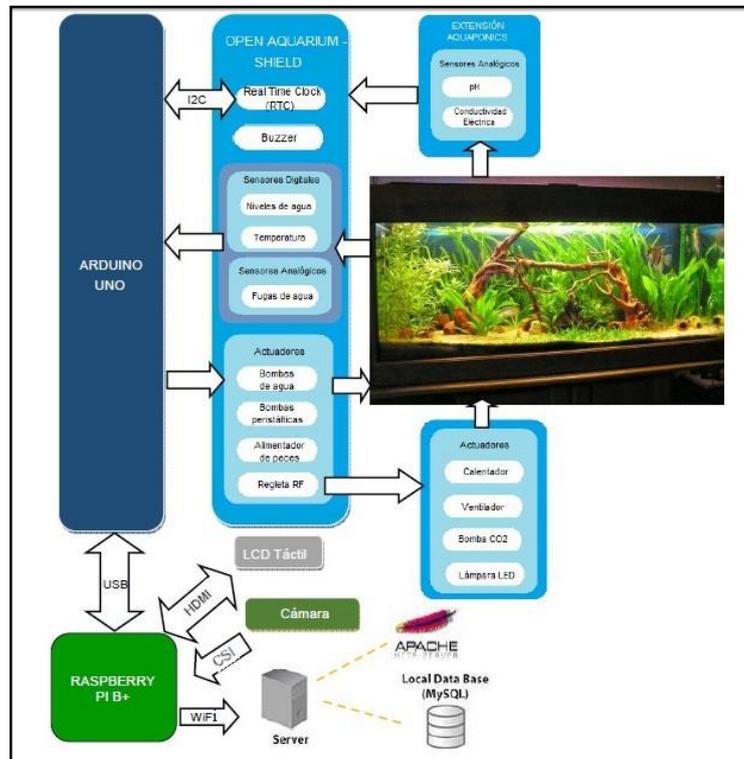


Figura 5. Diagrama general del diseño

Fuente: Lapuente, V. (2015). Control y Monitorización de un Acuario en Tiempo Real mediante Tecnología *Open Source*

2.2.1.6 “Aquaculture monitoring system based on fuzzy-PID algorithm and intelligent sensor networks”. (Paper)

Chang & Zhang (2013), en la publicación titulada “Aquaculture monitoring system based on fuzzy-PID algorithm and intelligent sensor networks”.

Del país de China, uno de los países *TOP* mundial en tecnología, desarrolla un sistema medición y control a tiempo real del pH, oxígeno disuelto, temperatura y otros parámetros del agua, para el monitoreo desarrolla nodos de sensores inalámbricos que siguen el protocolo y topología de árbol *ZigBee* la administración de varios nodos de sensores se logra

mediante una base de datos integrada. Utiliza una red de sensores inalámbricos (WSN) y tiene las ventajas de una estructura compacta, fácil diseño, alta precisión y bajo costo.

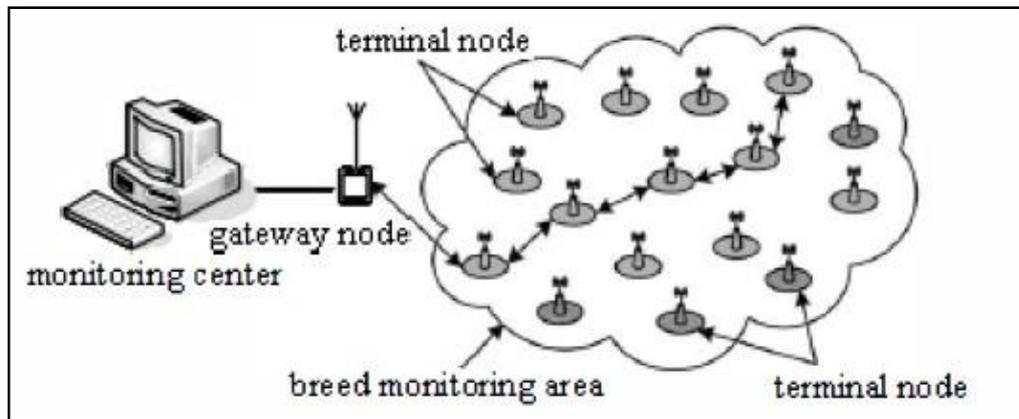


Figura 6. Arquitectura árbol zigbee del sistema de temperatura

Fuente: Chang & Zhang, (2013). "Aquaculture monitoring system based on fuzzy-PID algorithm and intelligent sensor networks"

El control empleado es PID difuso que requiere de principios básicos de las matemáticas difusas aplicando la cantidad difusa para indicar condiciones y acciones de las reglas, estas reglas de control difuso se almacenan en el conocimiento de la computadora, utilizando un razonamiento difuso, el sistema de control de la computadora puede ajustar automáticamente los parámetros PID.

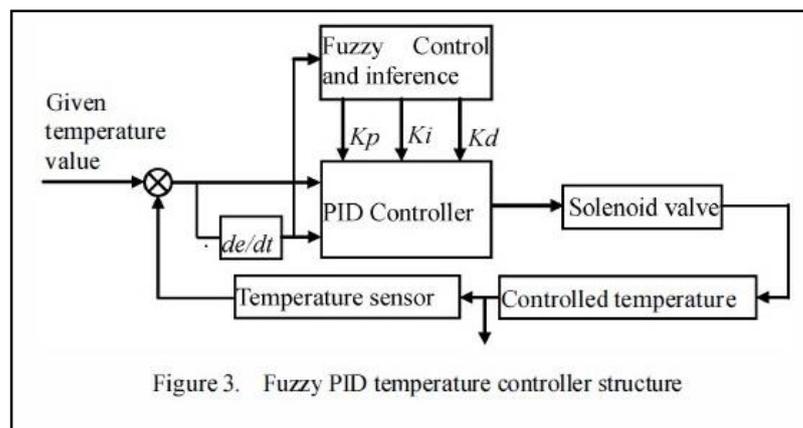


Figure 3. Fuzzy PID temperature controller structure

Figura 7. Modelo matemático para un control *Fuzzy PID*

Fuente: Chang & Zhang, (2013). "Aquaculture monitoring system based on fuzzy-PID algorithm and intelligent sensor networks"

2.2.1.7 “Diseño e implementación de una estación meteorológica con raspberry pi” (Tesis)

Tobajas, A. (2016). En la universidad Oberta de Catalunya publicó el diseño “Diseño e implementación de una estación meteorológica con *raspberry p*” en donde su objetivo principal fue la construcción de un centro meteorológico modular y remoto; asimismo contar con un diseño sostenible al momento del consumo de corriente y conseguir que el diseño sea autónomo energéticamente. Entre los parámetros físicos a medir son: temperatura, humedad, luminosidad, anemómetro, veleta, presión, pluviómetro.

Con el fin de mostrar los datos también emplearon un servidor web, con el ovejito de conseguir muestras suficientes para el estudio de los diferentes fenómenos meteorológicos.



Figura 8. Estación meteorológica

Fuente: Tobajas, A. (2016). “Diseño e implementación de una estación meteorológica con Raspberry Pi”

2.2.1.8 “Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones”. (Paper)

Flores, S., & Aracena, D. (2018). En la publicación de la revista *Ingeniare* “Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones” presenta un sistema que permite planificar y optimizar continuamente la toma de datos de los estanques. Recopilando más datos para analizar el comportamiento de los parámetros del agua, eliminando

el trabajo manual y el registro en hojas de papel. Entre los parámetros principales son: temperatura, oxígeno disuelto, pH, amonio y salinidad.

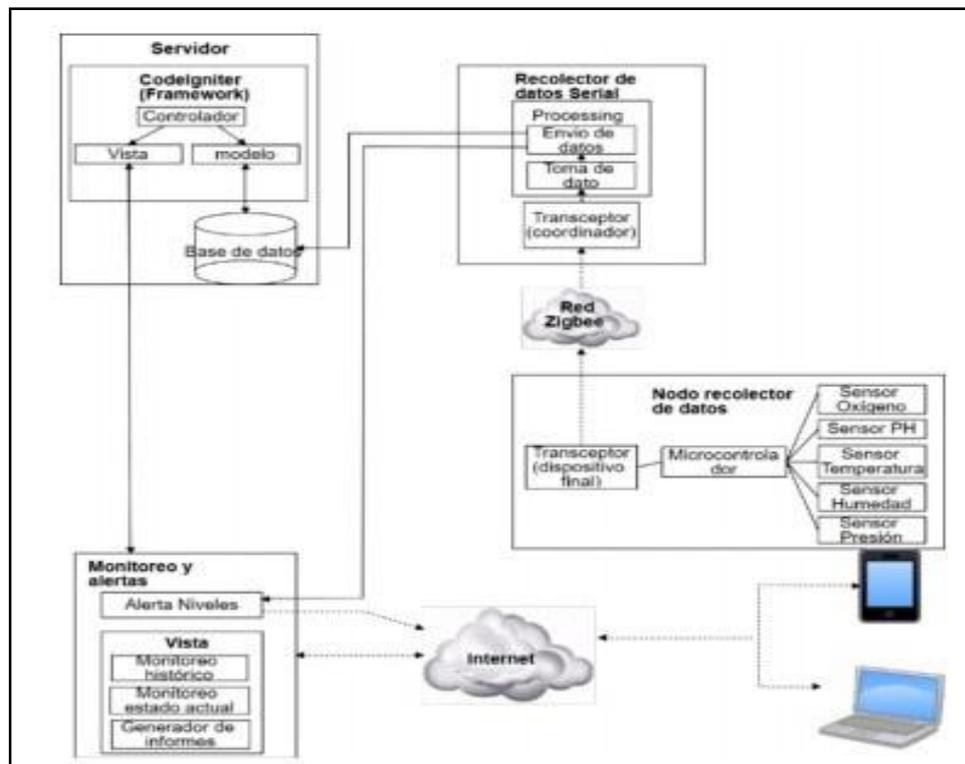


Figura 9. Arquitectura del sistema de monitoreo

Fuente: Flores y Aracena, (2018). Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Modelamiento del Sistema de Control de Temperatura y Oxígeno Disuelto

2.3.1.1 Control de temperatura

Para realizar el control de temperatura, dado que se desea mantener a una temperatura de trabajo de 18°C a 30°C, necesitamos obtener el modelamiento de nuestro sistema de control, para ello tenemos que tomar muestras del sistema, se realizó el siguiente muestreo, que se encuentra en el archivo temperatura.xlsx, el cual contiene datos de voltaje y temperatura.

	A	B
1	0	18
2	0	18.1
3	0	18
4	0	18
5	0	18.1
6	0	18
7	0	18
8	0	18.1
9	0	18
10	0	18
11	0	18.1

Figura 10: Datos del archivo Excel

Elaboración: Los autores

Estos datos, se introducen en Matlab, para ello se elaboró el siguiente script -> model.m

```
clear all
clc

v = xlsread('temperatura.xlsx', 'A1:A608');
t = xlsread('temperatura.xlsx', 'B1:B608');
```

Con el script anterior se guarda los datos de las columnas del archivo Excel en las variables **v**, de voltaje y **t**, de temperatura, unas vez almacenadas estas variables en Matlab, utilizamos el comando **ident**, que se utiliza para identificar el modelo de nuestra planta.

Posteriormente se selecciona en la opción *Time domain*.

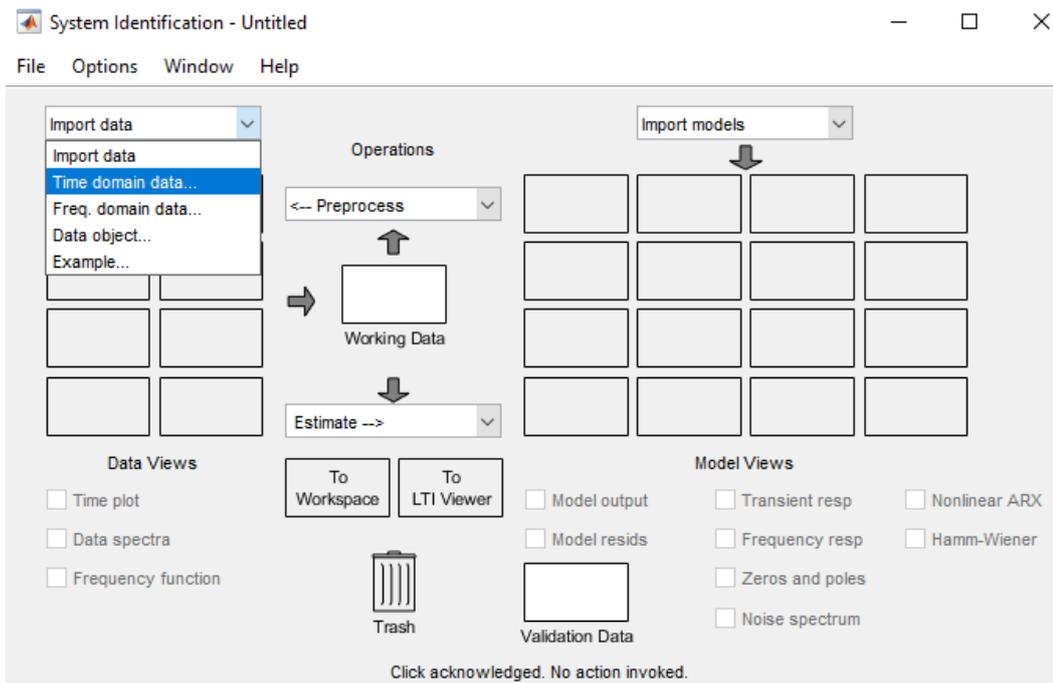


Figura 11: Ventana *System Identification* (Matlab).

Elaboración: Los autores.

En la siguiente ventana, en input colocáramos el nombre de la variable **v**, en output colocamos el nombre de la variable **t**, luego clic en *import*.

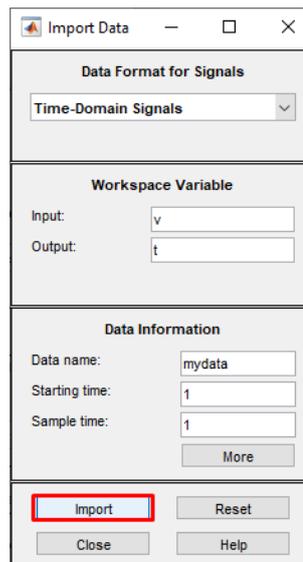


Figura 12: Ventana *System Identification – Import Data* (Matlab)

Elaboración: Los autores

Luego clic en *Transfer Function Models*.

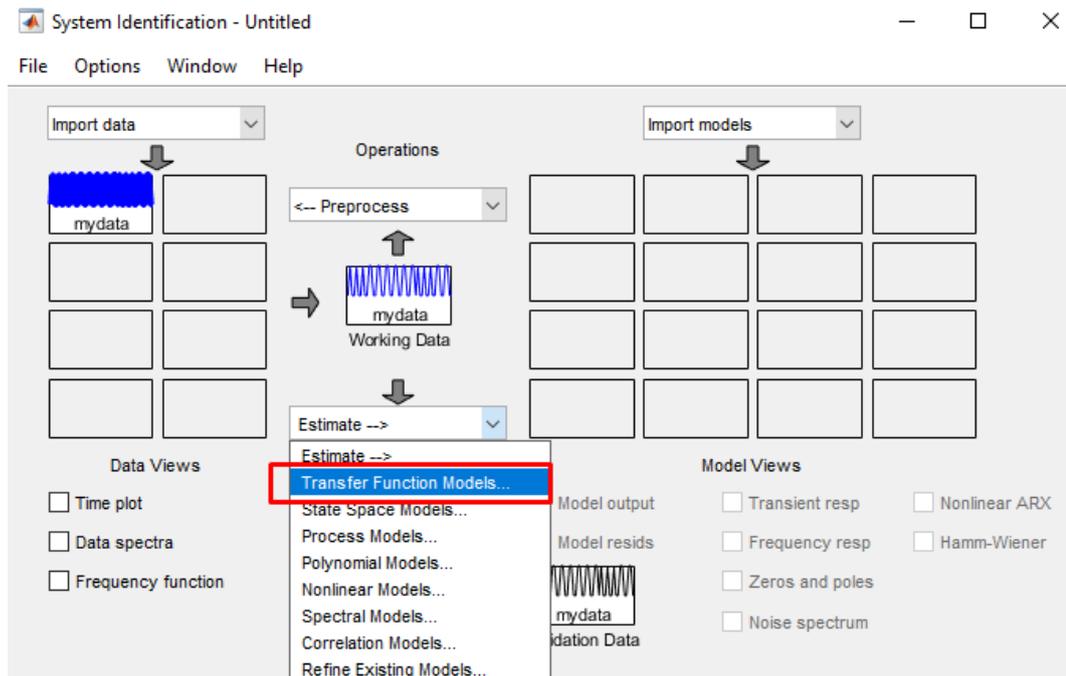


Figura 13: Ventana *System Identification – Transfer Function Models* (Matlab).

Elaboración: Los autores.

Se selecciona la siguiente configuración, luego clic en *Estimate*.

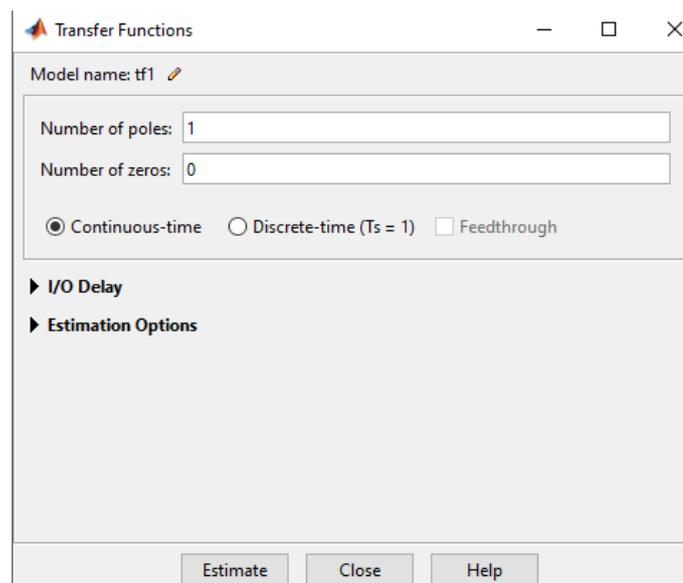


Figura 14: Ventana *Transfer Functions* (Matlab)

Elaboración: Los autores

Obtenemos una estimación del 76.55%.

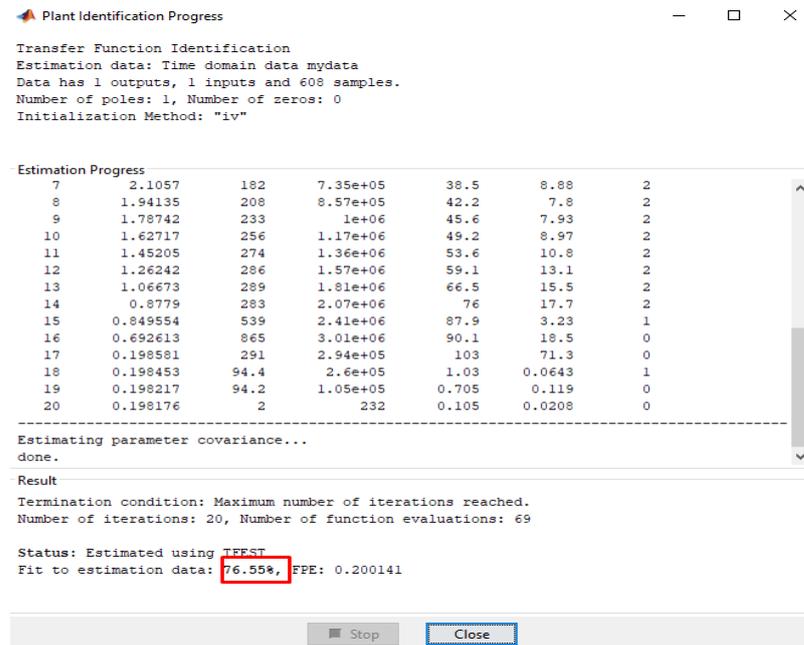


Figura 15: Ventana *Plant Identification Progress* (Matlab)

Elaboración: Los autores

Entonces la función transferencia se muestra de la siguiente manera.

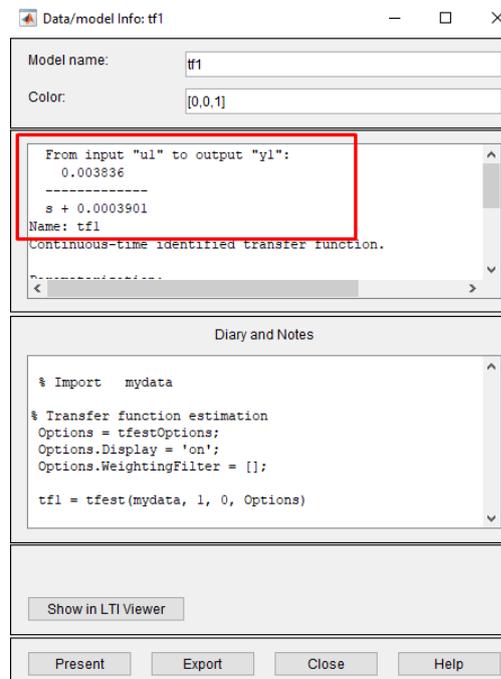


Figura 16: Ventana *Data/model Info* (Matlab)

Elaboración: Los autores

Se obtiene el modelamiento de la planta, se puede hacer uso de la herramienta *pidtool* de Matlab para obtener los parámetros de nuestro controlador PID.

En la siguiente ventana seleccionamos import

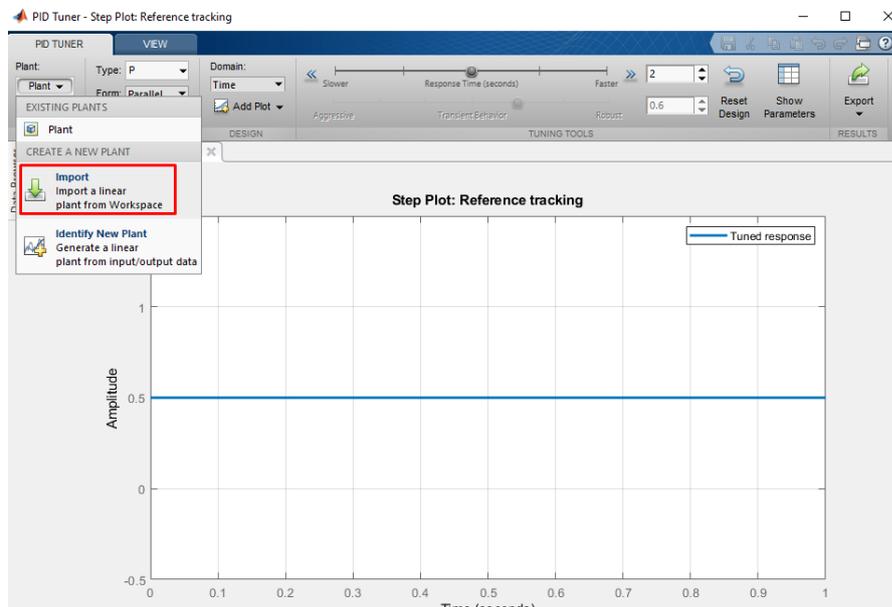


Figura 17: Ventana *PID Tuner – Step Plot* (Matlab)

Elaboración: Los autores

Se selecciona la planta y clic en ***import.***

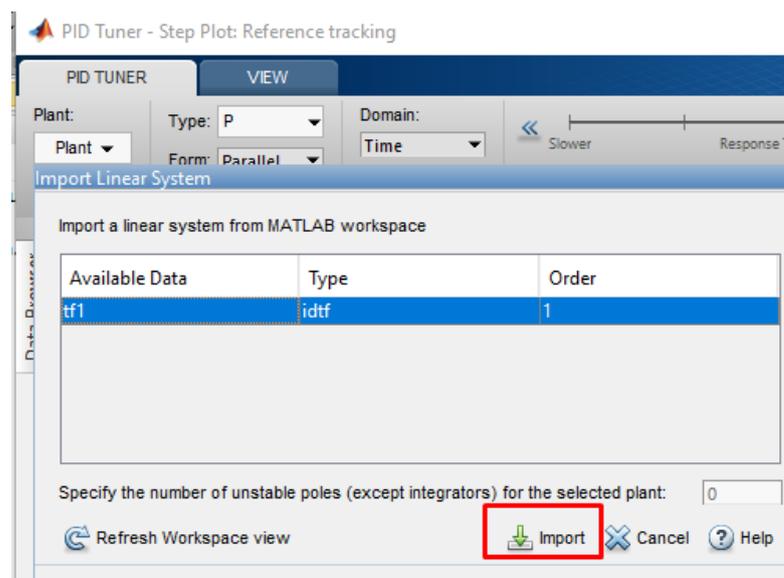


Figura 18: Ventana *PID Tuner – Step Plot – Import Linear System* (Matlab).

Elaboración: Los autores.

Luego se calibra los parámetros para obtener los valores de k_p , k_i , y k_d los cuales utilizaremos para nuestro controlador PID de temperatura.

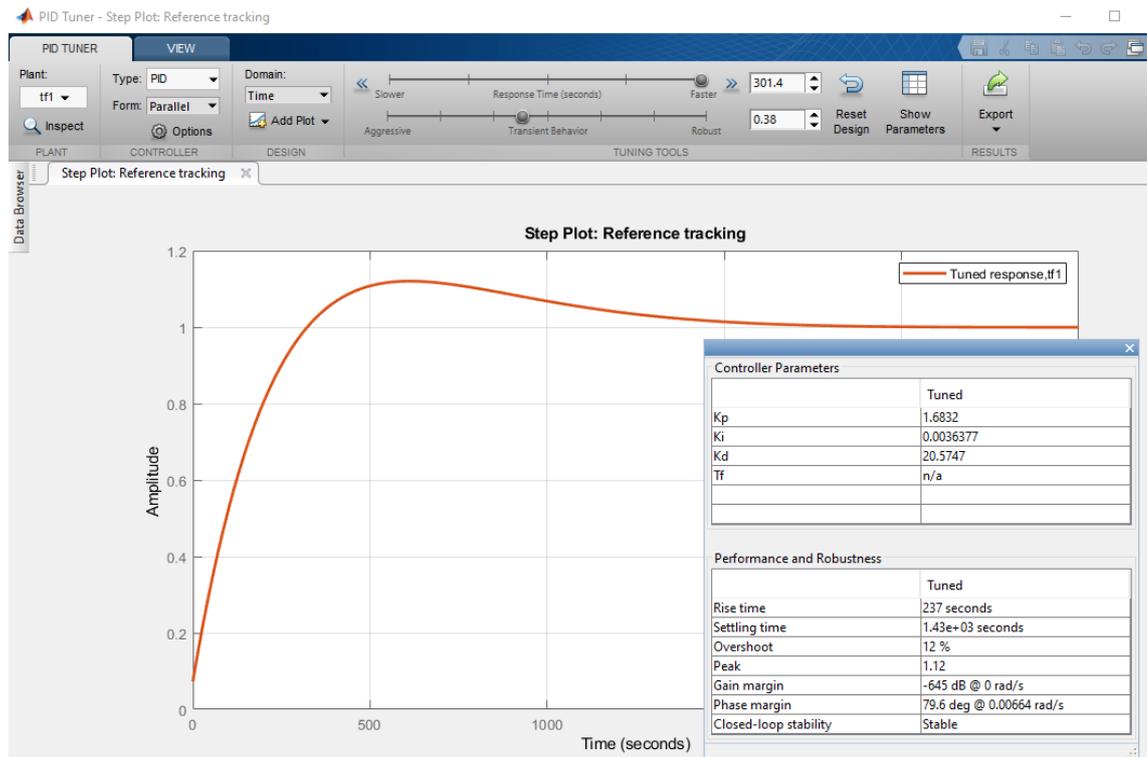


Figura 19: Ventana PID Tuner – Step Plot: Reference tracking (Matlab)

Elaboración: Los autores

2.3.1.2 CONTROL ON/OFF DE OXÍGENO DISUELTO

Esta opción de controlador, también conocido como controlador On-Off, utiliza una secuencia de pasos para verificar si una variable está por debajo o por encima de un determinado punto de ajuste. En particular, la variable manipulada o la señal de control del controlador cambia entre "totalmente ON" o "completamente OFF", sin un estado medio. Este tipo de impacto provoca un control muy impreciso de la variable del proceso.

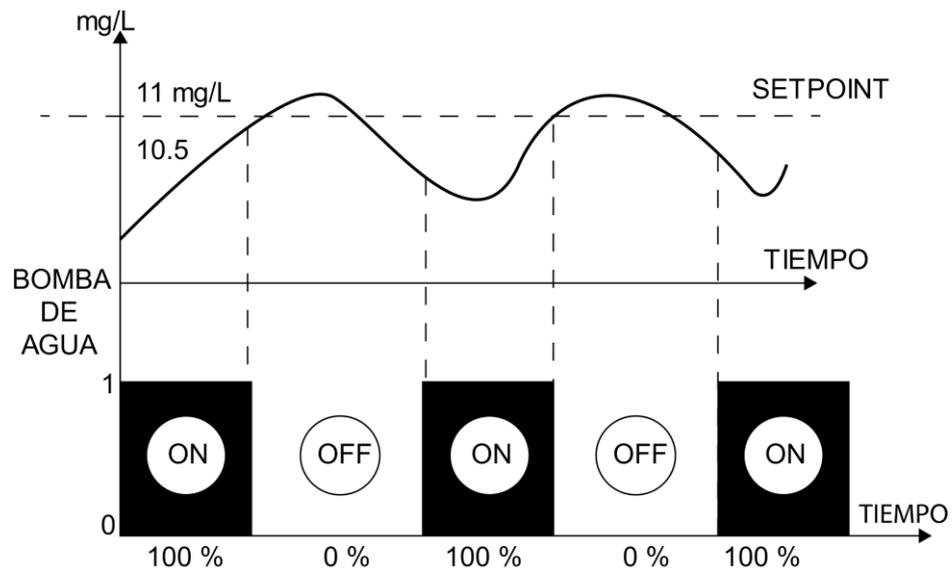


Figura 20: Control ON/OFF de la bomba de agua

Elaboración: Los autores

2.3.2 Modelamiento de Temperatura.

Es un sensor de temperatura basado en el cambio de la resistencia de un conductor con la temperatura.

Los metales comúnmente utilizados son cobre, platino, molibdeno y níquel. Los sensores de platino son el tipo de sensor más popular porque tienen mejor linealidad, rapidez y rango de temperatura.

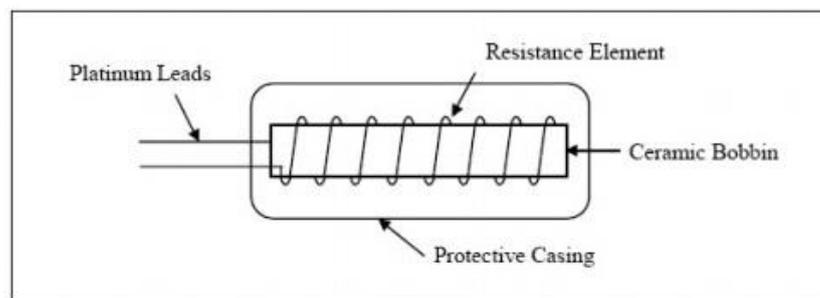


Figura 21: Esquema interno de un *Resistance Temperature Detector*(RTD)

Fuente: Thomas A. Hughes (2002). (3° ed.). Measurement and Control Basics.

El material que forma el conductor (platino), con coeficiente temperatura de resistencia α , que determina el cambio en la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura, según se muestra la ecuación:

$$Rt = Ro(1 + \alpha t) \quad (1)$$

Donde:

R_o = Resistencia en ohms a 0°C.

R_t = Resistencia en ohms a t°C.

t = Temperatura actual.

α = Coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor entre 0°C y 100°C es de $0.003850 \Omega \times (1/\Omega) \times (1/^\circ\text{C})$ en la escala de Práctica de Temperaturas Internacionales.

2.3.3 Funcionamiento del Transductor de pH.

Es un electrodo de vidrio relleno de gel incorporado en un tubo de plástico con una abertura en el lado inferior. El electrodo de pH ha sido diseñado para funcionar de una manera fiable y precisa en condiciones variadas.

El cuerpo resistente protege el bulbo de vidrio para la detección del pH. En la investigación "Acondicionamiento del Sensor de pH y Temperatura para realizar Titulaciones Potenciométricas" de la Universidad Tecnológica de Pereira se indica que para aplicaciones más frecuentes de la potenciometría para la medición del pH de una solución, se han diseñado celdas electroquímicas cuya fuerza electromotriz dependen del pH de la solución a analizar. (Álzate et. al, 2012)

El principio de operación de un transductor de pH, consiste en calcular la actividad del ion de hidrógeno en un líquido. Por ejemplo en la parte final de las sondas existe una membrana de vidrio. Esta membrana de vidrio permite que los iones de hidrógeno del líquido medido se disuelvan en la capa externa del vidrio, mientras que los iones de mayor tamaño se mantienen en la solución. Esta diferencia en la concentración, genera una corriente muy pequeña, lo cual es proporcional a la concentración de iones de hidrógeno en el líquido medido.

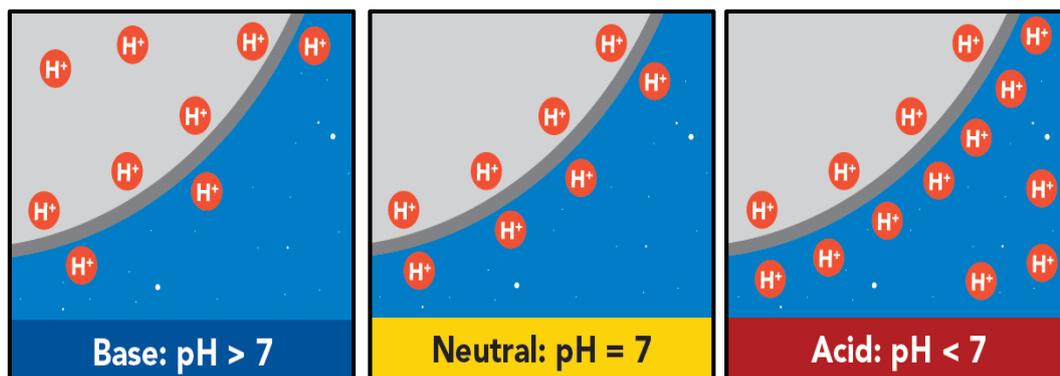


Figura 22: Efecto en transmisión de Hidrogeno según sea alcalino o ácido
 Fuente: *Datasheet Probe pH Atlas Scientific.*(Recuperado en: https://www.atlas-scientific.com/files/pH_EZO_Datasheet.pdf)

Esta corriente es muy débil y no se puede detectar con un multímetro. Esta débil señal eléctrica se puede interrumpir fácilmente, por ello se debe utilizar únicamente conectores y cables adecuados.

El electrodo de vidrio es ahora el componente principal de la medición electrométrica del pH. Junto con el electrodo de calomel, son ampliamente difundidos y actualmente ningún otro sistema de medición electrométrica que tenga la misma precisión y versatilidad.

El principio de funcionamiento del electrodo de vidrio fue descubierto por accidente por McInnes y Dole, cuando notaron que el vidrio que usaron en sus investigaciones mostraba cierta sensibilidad a los cambios de pH. Una vez hecho su descubrimiento, procedieron a investigar una composición más adecuada de vidrio, que es la base de los electrodos empleados hoy día. (Ciganda L., 2004).

En el XII seminario de ingeniería biomédica, 2004. Conferencia "biosensores para determinaciones analíticas" de la Universidad de la Republica Oriental de Uruguay, indica que generalmente la varilla de soporte del electrodo es de vidrio ordinario o plástico, no conductor de cargas eléctricas mientras que el bulbo sensible, está hecho de un tipo de vidrio de fabricación especial, conocido como "vidrio sensible al pH".

El vidrio de pH es conductor porque contiene óxido de litio dentro del cristal. La estructura de vidrio del electrodo permite la sustitución de iones litio

por iones de hidrógeno en solución acuosa, creando una capa (delgada) hidratada. Crea un potencial (en milivoltios) en la interfaz entre el vidrio (en el "seno" del vidrio) y la solución acuosa. La diferencia de potencial producida hacia el interior del bulbo permanece constante porque su pH constante en la solución estable de modo que el voltaje depende únicamente del pH del medio externo. La inclusión de un cable (normalmente de Ag/AgCl) permite aplicar este potencial al amplificador.

Método para determinar el pH midiendo el potencial generado por el electrodo, que se compara con el electrodo de referencia, que genera un potencial independiente y constante del pH. El electrodo de referencia que se utiliza es el de calomel saturado con cloruro de potasio, el cual sirve como puente salino que permite el paso de los milivoltios generados hacia al circuito de medición (Figura 23).

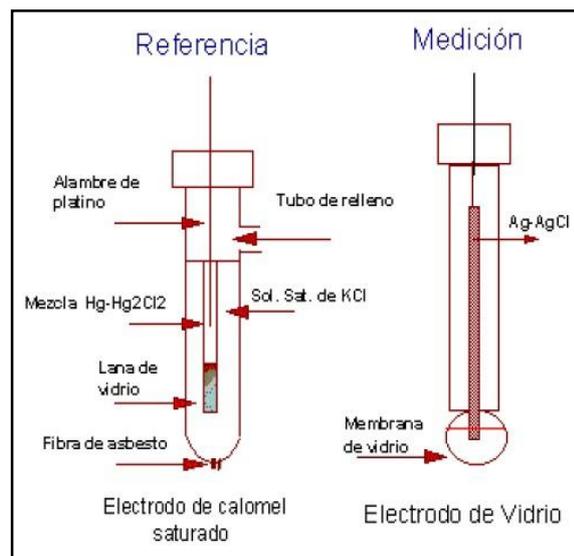


Figura 23. Esquema de los electrodos usados en la medición del pH

Fuente: Ciganda, L. (2004) XII seminario de ingeniería biomédica, Conferencia "biosensores para determinaciones analíticas".

En el diseño "Diseño e implementación de un sistema automatizado para el control del acuario del museo de ciencias biológicas de la escuela politécnica nacional" de la escuela politécnica nacional de Ecuador se menciona que el agua contiene iones libres negativos de hidroxilo (OH) e iones libres positivos de hidrógeno (H). La acidez de una solución depende de

la concentración de los iones de hidrogeno (expresado por el simbolo pH). El agua “neutra” consta de igual cantidad de iones hidroxilos y de iones de hidrógeno, habiéndose determinado, mediante mediciones, que existe un ión de cada tipo por cada 10.000.000 de moléculas (107). Se dice, entonces, que el pH neutro es 7.

Si el agua tuviese la proporción de un ión de H por cada millón de moléculas (106), el pH sería 6, y así sucesivamente. Al aumentar la concentración de un tipo de ion disminuye la del otro. (Caicedo & Obando, 2011)

En la actualidad el sistema de medición para el pH por excelencia, es el electrodo de combinación. El cual el nombre proviene de la práctica inicial en donde el electrodo sensor de H⁺ estaba separado del electrodo de referencia; la combinación de ambos en una sola estructura llevó a su nombre actual. Pero en los procesos o prácticas de manera industrial siguen utilizando electrodos de referencia y de pH separados, ya que permite señales más confiables y procedimientos de mantenimiento que, en algunos casos, resultan más controlables y de menor costo.

La diferencia de potencial será dada por la ecuación (2), llamada ecuación de Nernst:

$$E_H = \frac{RT}{F} \ln \frac{[H^+]_c}{\sqrt{[H_2]_c}} - \frac{RT}{F} \ln \frac{[H^+]_M}{\sqrt{[H_2]_M}} \quad (2)$$

Dónde:

EH : Potencial medido a través de la membrana de vidrio (V).

R: Constante de los gases ideales.

F: Constante de Faraday.

[H⁺]C: Concentración de ion H⁺ en la celda de concentración.

[H⁺]M: Concentración de ion H⁺ en la muestra desconocida.

[H₂]C: Concentración de Hidrogeno en la celda de concentración.

[H₂]M: Concentración de Hidrogeno en la muestra desconocida.

Las concentraciones son molares (moles/litro). El primer término de la ecuación (2) se puede interpretar como el potencial estándar de la celda (E_0). Si la presión del hidrógeno gaseoso fuese 1 atmósfera, el denominador del término bajo logaritmo sería 1 y el potencial es solamente dependiente de la concentración de hidrógeno ionizado en la celda que contiene la muestra. . Así:

$$E_H = E_0 - \frac{RT}{F} \ln[H^+]M \quad (3)$$

Usando el logaritmo en base diez en la ecuación (3), tenemos:

$$E_H = E_0 - 2,3026 \frac{RT}{F} \ln[H^+]M \quad (4)$$

El pH está definido como $(-\log[H^+])$ en la ecuación (4), nos queda:

$$E_H = E_0 - 2,3026 \frac{RT}{F} pH \quad (5)$$

La temperatura promedio en el agua es de 25°C equivalente a 298,15 K y con los valores de las constantes, remplazando en la ecuación (5), se tiene:

$$E_H = E_0 - 2,3026 \frac{8,314 \frac{J}{molK} X 298,15 K}{96484,556 \frac{C}{mol}} pH \quad (6)$$

$$E_H = E_0 - (0,05917V)pH \quad (7)$$

Para finalmente obtener la ecuación (7) que se define en una relación lineal entre el pH y el potencial de la membrana. Se observa que por cada unidad de pH el potencial cambia 59,17 mV, además el potencial cuando el pH es de 7 unidades es cero (0). (Álzate et. al, 2012)..

Entonces la relación del potencial del electrodo de pH y el nivel de pH se muestra en la figura 24.

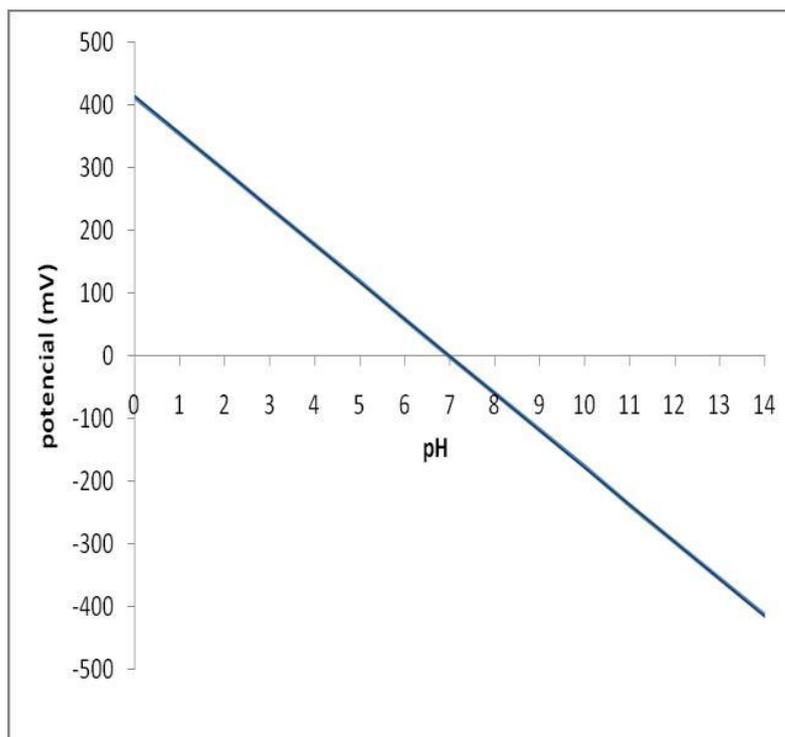


Figura 24. Relación del Potencial del electrodo y el pH a 25°C

Fuente: Álzate & Montes & Escobar, (2012). “Acondicionamiento del Sensor de pH y Temperatura para realizar Titulaciones Potenciométricas”

Como se observa en el ecuación (6) se tomó el valor de la temperatura promedio en el agua de 25°C, por lo que se concluye una dependencia de la temperatura, y la ecuación de Nernst se obtiene una pendiente en función de la temperatura “T” (en Kelvin).

$$Pendiente = 2,3026 \frac{8,314 \frac{J}{molK}}{96484,556 \frac{C}{mol}} T(K) \quad (8)$$

$$Pendiente = 0,1985 T(K), mV/pH \quad (9)$$

Por lo que se define que a mayor temperatura el mV en el potencia del electrodo aumenta y este a su vez es inversamente proporcional al nivel de pH, generando diferentes pendientes como se muestra en la figura 25.

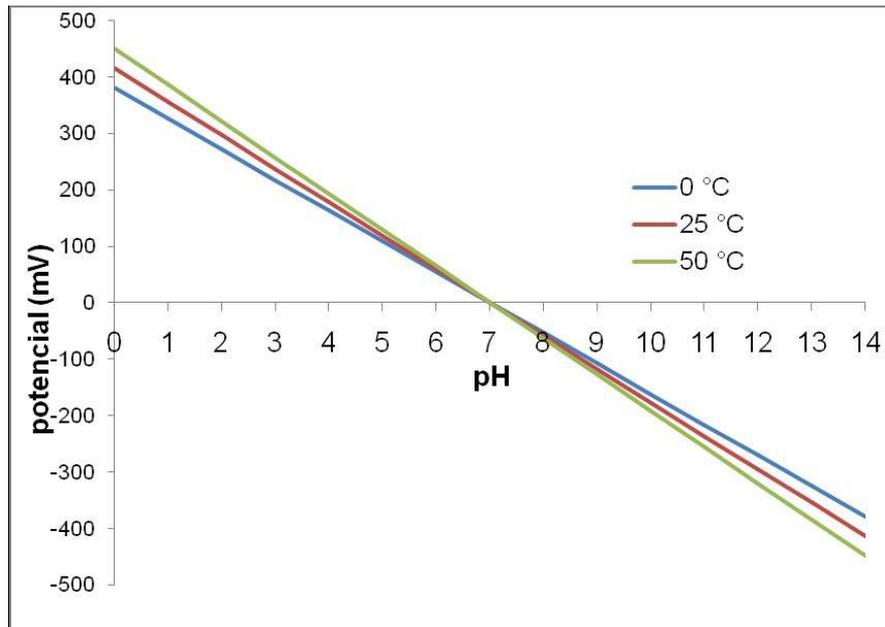


Figura 25. La temperatura como factor dependiente para el potencial del electrodo

Fuente: Álzate & Montes & Escobar, (2012). “Acondicionamiento del Sensor de pH y Temperatura para realizar Titulaciones Potenciométricas”

El prototipo electrónico que se desarrollará tiene como objetivo la medición de los diferentes niveles de pH que consistirá en transformar el potencial del electrodo correspondiente al pH de la poza a medir. Los electrodos de pH son de bajo voltaje y de una alta impedancia de entrada por lo que se requerirá diseño de circuitos eléctricos basado en seguidor de voltaje, amplificación y filtro pasa baja.

En la investigación “Acondicionamiento del Sensor de pH y Temperatura para realizar Titulaciones Potenciométricas” de la Universidad Tecnológica de Pereira, propone su sistema diseñado en circuitos electrónicos que constan de por lo menos dos amplificadores con un seguidor de voltaje y tres potenciómetros para la calibración y ajuste: un potenciómetro para el punto cero, un potenciómetro para la pendiente y un potenciómetro (resistencia variable) para la compensación de la temperatura. Modificando el potenciómetro para el punto cero y el potenciómetro para la pendiente lo cual modifica el factor de amplificación del amplificador de tal manera que corresponda a la pendiente del electrodo de medición y el potenciómetro de

temperatura modifica el factor de amplificación de acuerdo a la variación de la temperatura. (Álzate et. al, 2012).

Para esta compensación de la temperatura también puede adaptarse un sensor de temperatura ajustado directamente al circuito amplificador con lo que se garantiza una compensación de temperatura se pueda realizar de forma totalmente automática, para este caso se tendría que medir la temperatura de solución y el valor del pH medidos simultáneamente. (Álzate et. al, 2012).

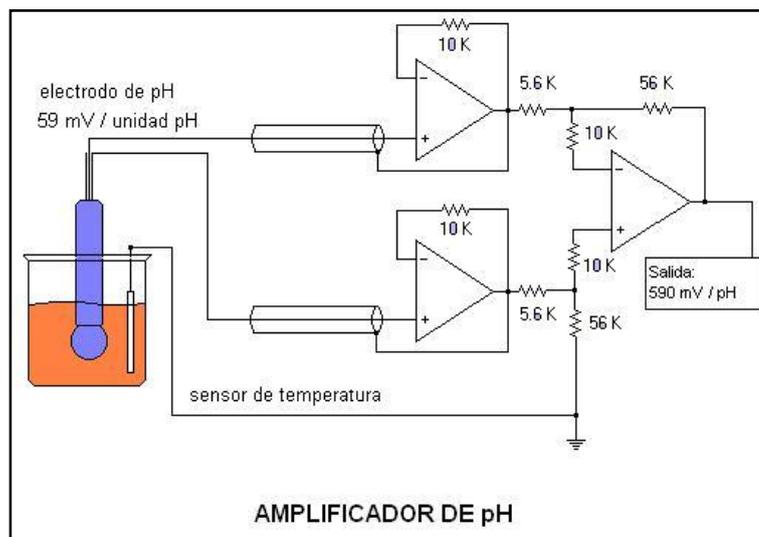


Figura 26: Diseño propuesto para adecuación de señal de pH.

Fuente: (Álzate et. al, 2012). "Acondicionamiento del Sensor de pH y Temperatura para realizar Titulaciones Potenciométricas".

2.3.4 Comunicación de Transductor de pH.

El electrodo de pH es capaz de leer micro voltajes que están brotando en el agua de fuentes no naturales como bombas, válvulas de solenoide u otras sondas / sensores. Cuando el ruido eléctrico interfiere con las lecturas de pH, es común ver lecturas que fluctúan rápidamente o lecturas que están constantemente apagadas, debido al ruido eléctrico que causa lecturas inexactas, se recomendaría colocar en un el electrodo de pH en otra sustancia hasta que se estabilice rápidamente, confirmando que el problema era el ruido eléctrico

El electrodo de pH está conectado por medio de un cable coaxial y un conector tipo BNC. El sensor de pH es un sensor digital tipo I2C que proporciona valores de medición ya calibrados. El sensor sólo se puede conectar a las interfaces que soportan los sensores digitales I2C como la interface Raspberry.

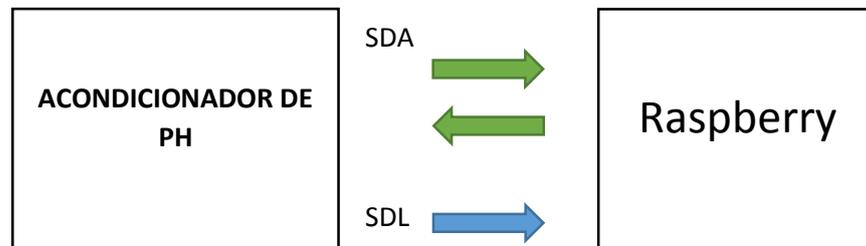


Figura 27: Comunicación entre acondicionador de pH y microprocesador

Elaboración: Los autores

2.3.5 Protocolo I2C.

Es un protocolo de comunicación serial, donde existen dispositivos maestros y esclavos, donde sólo los dispositivos maestro pueden iniciar una comunicación. Básicamente se creó para poder comunicar varios chips al mismo tiempo.

Esto puede ser de gran ayuda cuando se van a utilizar varios microcontroladores para almacenar un registro de datos hacia una sola memoria o mostrar información en una pantalla. El protocolo I2C utiliza sólo dos vías de comunicación, así como también lo hace el protocolo UART. Protocolo I2C (s.f.).

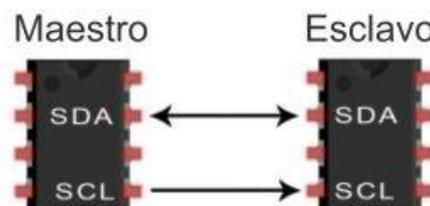


Figura 28: Conexión entre Maestro y Esclavo

Fuente: Protocolo I2C (s.f.)

SDA – Serial Data: Es la vía de comunicación entre el maestro y el esclavo para enviarse información.

SCL – Serial Clock: Es la vía por donde viaja la señal de reloj.

I2C es un protocolo de comunicación serial, como podemos observar en la figura 17, el protocolo I2C envía información a través de una sola vía de comunicación. La información es enviada bit por bit de forma coordinada. Protocolo I2C (s.f.)

I2C es un protocolo síncrono, al igual el protocolo SPI, el protocolo I2C trabaja de forma síncrona. Esto quiere decir que el envío de bits por la vía de comunicación SDA está sincronizado por una señal de reloj que comparten tanto el maestro como el esclavo a través de la vía SCL. Protocolo I2C (s.f.)

Tabla 3. Características de Protocolo I2C

Velocidad Máxima	Modo Estándar = 100 kbps
	Modo rápido = 400 kbps
	Modo High Speed = 3.4 Mbps
	Modo Ultra Fast = 5 Mbps
Síncrono o Asíncrono	Síncrono
Paralelo o Serial	Serial
Número máximo de Maestros	Ilimitado
Número máximo de Esclavos	1008

Elaboración: Los autores

Terminología del “bus” I2C:

- Transmisor (Transmitter): Es el dispositivo que envía datos a la línea SDA.
- Receptor (Receiver): Es el dispositivo que recibe datos desde la línea SDA.
- Maestro (Master): Es el dispositivo que empieza una transferencia, genera la señal de reloj (clock).
- Esclavo (Slave): El dispositivo que es direccionado por el “master”.

- **Multimaestro (Multimaster):** Es la habilidad de coexistir más de un dispositivo “master” para controlar el bus serie de datos (SDA) y el bus serie de reloj (SCL).
- **Arbitraje (Arbitration):** Si más de un dispositivo intenta simultáneamente controlar el bus, tiene lugar un procedimiento simple de arbitraje, de modo que solamente un dispositivo puede ser el “Master”.
- **Sincronización (Synchronization):** Es el procedimiento para sincronizar la señal de reloj de dos o más dispositivos.

Envío y Recepción en Protocolo I2C

El protocolo I2C envía la información en mensajes. Los mensajes van divididos en tramas de datos.

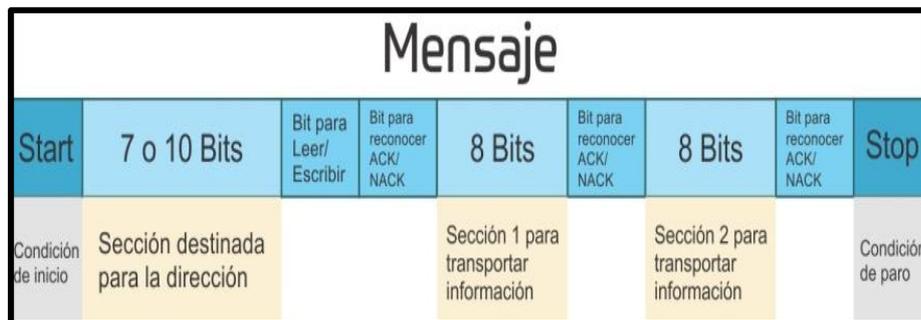


Figura 29: Tramas de un mensaje en I2C

Fuente: Protocolo I2C (s.f.)

En lo cual se define:

Condición de Inicio.- La vía SDA cambia de un nivel de voltaje Alto a un nivel de voltaje Bajo, antes de que el canal SCL cambie de Alto a nivel Bajo.

Condición de Paro.- La vía SDA ahora cambia de un nivel de voltaje Bajo a Alto, después de que la vía SCL cambia de Bajo a Alto

Dirección binaria.- Cada mensaje lleva un trama con una dirección la cuál transporta la dirección binaria del esclavo al que va dirigido el mensaje.

Lectura/Escritura.- Es un bit de información enviado a los Esclavos. Por medio de este bit el Maestro indica si le va enviar información al Esclavo (Nivel Bajo de voltaje = Escritura), o si el Maestro quiere solicitarle información al Esclavo (Nivel Alto de Voltaje = Lectura)

Enviando comandos al dispositivo.

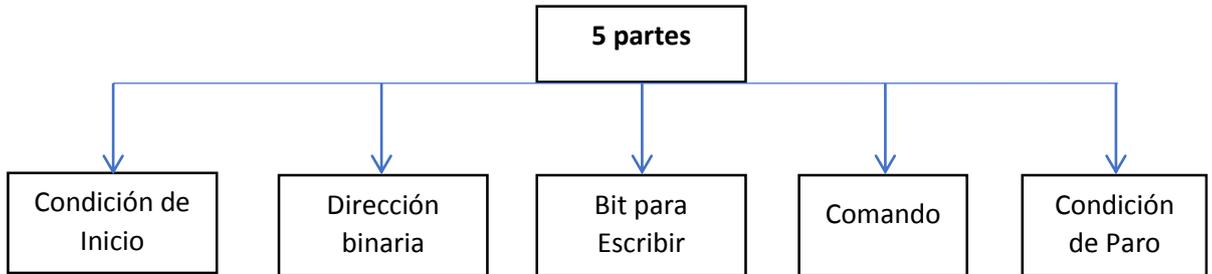


Figura 30: Tramas activadas para el envío de información

Elaboración: Los autores

Solicitando datos desde el dispositivo.

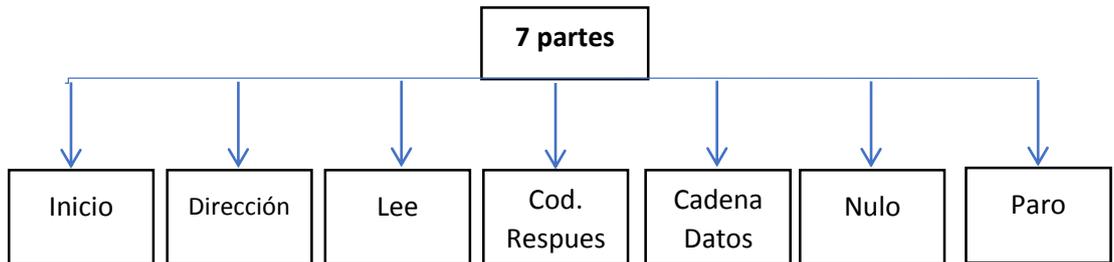


Figura 31: Tramas activadas para la solicitud de información

Elaboración: Los autores

Código de Respuesta

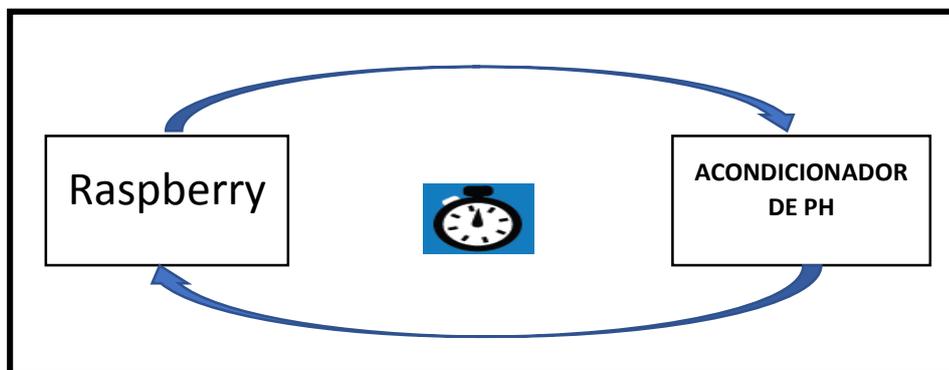


Figura 32: Envío y recepción en condigo de respuesta en I2C.

Elaboración: Los autores.

2.3.6 Circuitos acondicionadores para la señal de pH.

El acondicionamiento de señales es el proceso de adquisición de datos realizado por la elaboración de circuitos acondicionadores de señal emitida por diversos tipos de sensores. Los circuitos acondicionadores convierten un tipo de señal eléctrica o mecánica (señal de entrada) a otro tipo de señal de salida en la figura 33 se muestra el diagrama de bloques y se detalla las diversas etapas para el acondicionamiento como amplificación de señal y conversión a un formato de fácil lectura y compatible con fines de adquisición de datos.

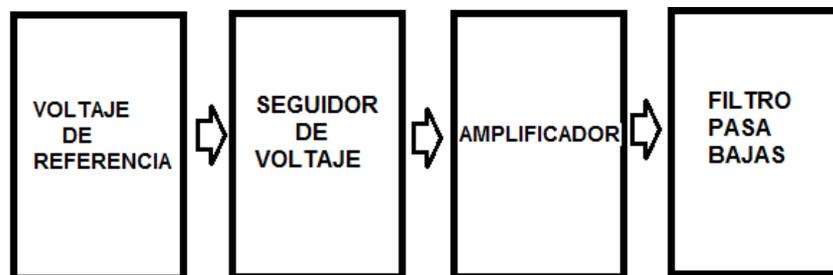


Figura 33: Diagrama de bloques de etapa de acondicionamiento.

Elaboración: Los autores.

Un parámetro a considerar es la tensión de entrada lo cual se usara una etapa que se añada un voltaje de referencia y sumarle la señal diferencial del sensor de pH, para posteriormente seguir por la etapa del seguidor voltaje, debido a que el seguidor necesita un voltaje mayor a la mitad de la alimentación y después viene la etapa de amplificación con la relación de ganancias.

2.3.6.1 Etapa de Seguidor de Voltaje

Tiene la ventaja de que la impedancia de entrada es muy alta, la impedancia de salida es nula, y puede ser útil, por ejemplo, para poder leer la tensión del sensor a muy baja tensión casi sin efecto. De hecho, se recomienda este circuito para las mediciones de voltaje más precisas.

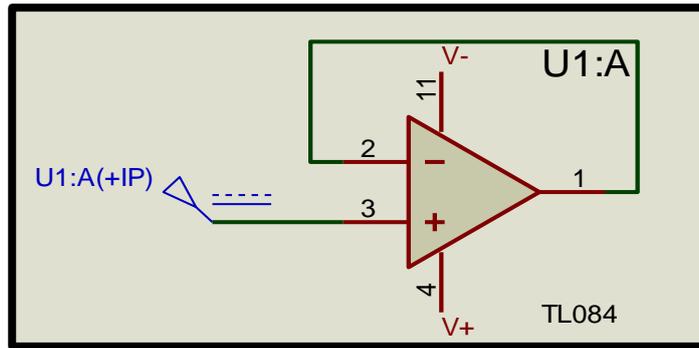


Figura 34: Seguidor de Voltaje Ideal

Elaboración: Los autores

$$V_{S.out} = V_{S.in} \quad (10)$$

Dónde:

$V_{S.out}$: Voltaje de salida del Opamp (V).

$V_{S.in}$: Voltaje de entrada del Opamp (V).

2.3.6.2 Etapa de amplificación

La amplificación de señal implica aumentar la señal para su procesamiento o digitalización. Hay dos formas de amplificar la señal: aumentar la precisión de la señal de entrada o aumentar la relación señal de ruido.

En el acondicionamiento de señales, se utilizan diferentes amplificadores de los cuales encontramos los amplificadores de instrumentación, optimizado para señales de corriente continua, alta impedancia de entrada y una alta supresión de la cadencia sincrónica (CMRR) y una elevada ganancia.

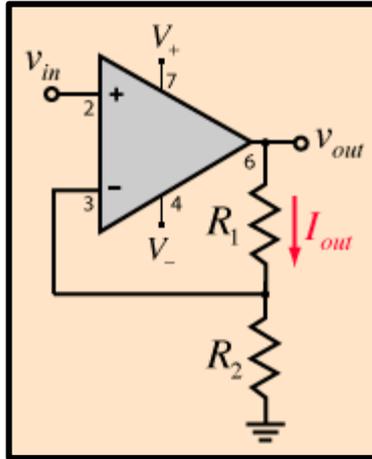


Figura 35: Etapa de amplificación

Elaboración: Los autores

$$V_{A.out} = V_{A.in} \left(1 + \frac{R_{A.2}}{R_{A.1}} \right) \quad (11)$$

Dónde:

- $V_{A.out}$: Voltaje de Amplificación salida del Opamp (V).
- $V_{A.in}$: Voltaje de Amplificación entrada del Opamp (V).
- $R_{A.1}$: Resistencia 1 para Amplificación (Ω).
- $R_{A.2}$: Resistencia 2 para Amplificación (Ω).

2.3.6.3 Voltaje de referencia

Una referencia de tensión proporciona una tensión de continua estable a corto y largo plazo que se utiliza como referencia estándar de otros muchos circuitos, como reguladores de tensión, convertidores D/A, sensores, amplificadores logarítmicos, y otros muchos circuitos de instrumentación que tienen como finalidad medir magnitudes físicas de sistemas reales. (Drake, 2005).

Los reguladores de tensión son circuitos capaces de proporcionar tensiones e intensidades muy estables a cargas más bajas. Habitualmente están basados en elementos de referencia de tensión que proporcionan la precisión y estabilidad, junto con otros elementos de

amplificación de potencia que los habilitan para transferirla a las cargas. (Drake, 2005).

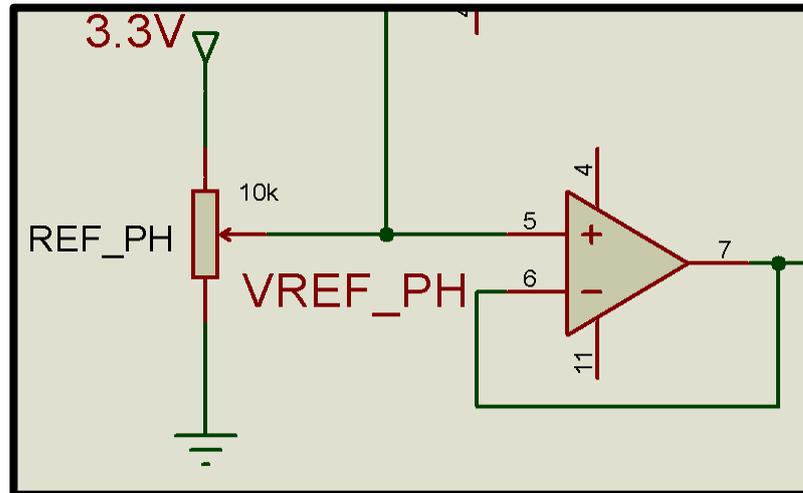


Figura 36. Voltaje de referencia para el pH
Elaboración: Los autores.

2.3.6.4 Filtrado

Una etapa importante para el acondicionamiento de señal es el filtrado. Para filtrar el espectro de frecuencia de la señal, solo se mantiene los datos válidos y se elimina el ruido. El filtro puede constar de componentes pasivos y activos o de un algoritmo digital. El filtro pasivo utiliza únicamente condensadores, resistencias e inductores con una ganancia máxima de uno. Un filtro activo usando componentes pasivos y activos, como transistores y amplificadores operacionales.

2.3.6.5 Filtro Pasa Bajo Pasivo

Se encarga de filtrar frecuencias no deseadas y eliminar o rechazar ciertas frecuencias. Un filtro de paso bajo permite el paso de las frecuencias bajas. En este filtro, el sistema RC consta de un circuito de componentes pasivos, un condensador y una resistencia en serie.

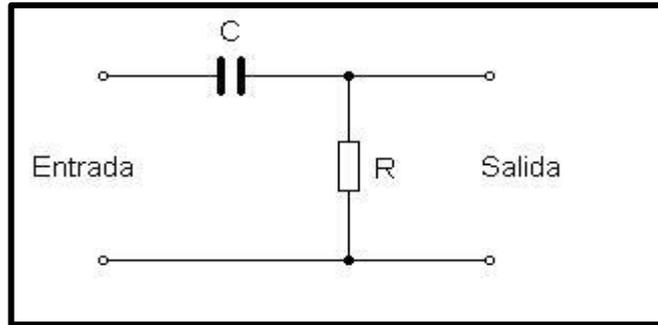


Figura 37: Diagrama filtro pasa bajo

Fuente: https://www.ecured.cu/Filtro_paso_bajo

En el sistema, la impedancia actúa como un divisor de voltaje, podemos definir la función de transferencia en el dominio del tiempo.

$$h(t) = \frac{\frac{1}{RC}}{j\omega + \frac{1}{RC}} \quad (12)$$

Para diferentes valores de frecuencia, uno puede determinar como el voltaje va disminuyendo de amplitud a medida que la frecuencia aumenta. Por lo tanto la función de transferencia, comienza en 1 y tiende hacia 0 con el aumento de la frecuencia. La mejor opción es pasar al sistema del dominio de la frecuencia compleja, o de Laplace, en cuyo caso supondremos que partimos del teorema de Laplace a partir de que tenemos que:

$$S = \sigma \pm j\omega \quad (13)$$

Se sustituye de la ecuación de la función de transferencia, se obtiene:

$$S = -\frac{1}{RC} \quad (14)$$

$$W_c = \frac{1}{RC} \quad (15)$$

La frecuencia de corte es la ganancia del circuito asume el valor $\frac{1}{\sqrt{2}}$ del valor máximo, se entiende cuando la ganancia se reduce al 70% y el voltaje salida tiene una amplitud 0.707 veces la de la señal de entrada.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (16)$$

Dónde:

- f_c : Frecuencia de corte (Hz).
- π : Voltaje de Amplificación entrada del Opamp (V).
- R_f : Resistencia para el diseño del filtro (Ω).
- C_f : Capacitor para el diseño del filtro (μF).

2.3.6 Principios del Transductor de Oxígeno Disuelto Galvánico

Para la medida de este parámetro, se utiliza un electrodo de difusión que consta, fundamentalmente, de una membrana permeable al oxígeno que separa la celda de medida del medio de fermentación. Principalmente se cuenta con dos tipos de electrodos, potenciométricos y amperométricos (que miden la corriente generada en la celda de medida por la reducción del oxígeno que atraviesa la membrana hacia la celda); y a su vez estos últimos pueden dividirse en dos tipos, los polarográficos (en los cuales se les coloca un potencial externo de polarización) y los galvánicos (que funcionan como una pila y generan su propia FEM). (Universidad Nacional de Quilmes, 2011)

En el proyecto "Desarrollo de sensores ópticos para gases y diseño de instrumentación portátil", elaborados por Francisco Javier López González del Departamento de Química Analítica Universidad de Granada en el año 2005. Indica que existen solo dos tipos sensores de oxígeno disuelto, de tipo eléctrico encontramos los galvánicos y los polarográficos. Ambos tipos de sensores usan un sistema de electrodos en el que el oxígeno disuelto reacciona en el cátodo para originar una intensidad de corriente. Si los materiales del electrodo se seleccionan de manera que la diferencia de potencial entre cátodo y ánodo sea mayor o igual a -0,5 V, no se requiere la aplicación de una diferencia de potencial externa y el sistema se denomina galvánico. Si se necesita aplicar un potencial externo, el sistema es

polarográfico. Los sensores galvánicos eléctricos y sensores ópticos. Dentro de los de tipo son más estables y exactos a bajos niveles de oxígeno que los polarográficos. (López, 2005).

En la figura 38, se representa la estructura de una sonda galvánica de oxígeno disuelto que consiste en una membrana de polietileno, un ánodo bañado en un electrolito y un cátodo. Las moléculas de oxígeno se desactivan a través de la membrana de las sondas a una velocidad constante (sin la membrana, la reacción ocurre rápidamente). (Martínez, 2018)

Un sensor galvánico funciona como baterías y pueden generar energía sin voltaje externo. Las sondas galvánicas contienen un ánodo y un cátodo en el electrolito. El oxígeno ingresa al electrolito a través de una membrana creando una diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo. Este voltaje se usa para medir el oxígeno disuelto.

Una vez que el oxígeno ha cruzado la membrana, se reducen en el cátodo y se produce una pequeña diferencia de potencial. Si no hay moléculas de oxígeno presentes, la sonda arrojará 0 mV. Mientras que aumenta el oxígeno, al mismo tiempo lo hace la salida en el orden de los milivoltios (mV) de la sonda. Cada sonda emitirá un voltaje diferente en presencia de oxígeno. Lo único que es constante es que $0\text{mV} = 0\text{ Oxígeno}$.

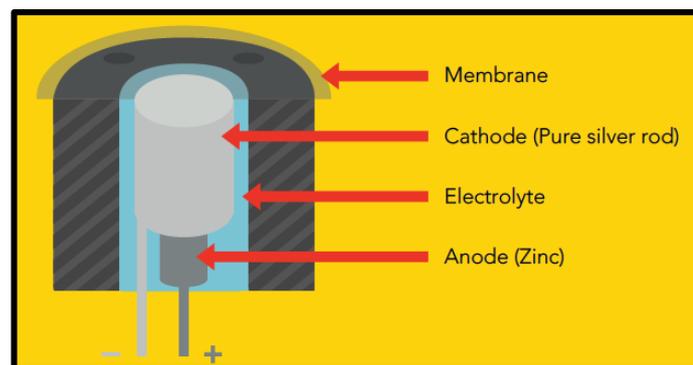
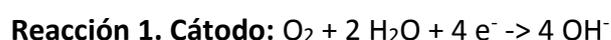


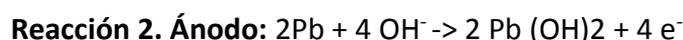
Figura 38: Estructura interna del Sensor de Oxígeno Disuelto

Fuente: Datasheet Probe pH Atlas Scientific. (Recuperado en: https://files.atlas-scientific.com/DO_EZO_Datasheet.pdf)

El voltaje leído por el sensor de oxígeno disuelto es directamente proporcional a la concentración de oxígeno disuelto. La célula está formada por un cátodo con una bobina de alambre fino que envuelve un ánodo de plomo. Una solución salina cubre el espacio entre el ánodo y el cátodo. El sensor se encuentra en el interior de una membrana cilíndrica muy próxima a la bobina de alambre. El oxígeno de la solución que se va a analizar se introduce en la célula por difusión a través de la membrana y atraviesa la fina capa de electrolito hasta el cátodo. El oxígeno se reduce en el cátodo como se muestra en la reacción 1. (HACH, 2016).



El cátodo tiene tal potencial negativo que reduce todo el oxígeno que se difunde por su superficie. El ánodo de plomo se oxida para producir una reacción general que produce hidróxido de plomo como se muestra en la reacción 2. (HACH, 2016).



El resultado general de esta reacción es el consumo del ánodo de plomo conforme fluye la corriente produciendo un electrodo muy sensible que puede detectar cambios a nivel de microvoltios. (HACH, 2016).

La sonda galvánica presenta un inconveniente es que al leer consume una cantidad ínfima de oxígeno. Por lo tanto, una pequeña cantidad de movimiento de agua es necesaria para tomar lecturas precisas. Aproximadamente 60 ml / min.

2.3.7 Modelamiento de acondicionadores

2.3.7.1 Resistencia eléctrica

Diseñar un elemento calefactor (resistencia eléctrica) para la generación de calor de acuerdo con los parámetros de temperatura establecidos para obtener el ambiente idóneo para un mejor crecimiento de las tilapias que se pretende criar.

La transferencia de calor es la energía, en tránsito, debido a una diferencia de temperaturas en un cuerpo o entre cuerpos diferentes. Cuando existe una diferencia de temperatura, la energía se transfiere de la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura. Según los conceptos de la Termodinámica, la energía que se transfiere como resultado de una diferencia de temperatura es el calor. Las leyes de la termodinámica tratan de la transferencia de energía, pero sólo se aplican a sistemas que están en equilibrio (pueden utilizarse para predecir la cantidad de energía requerida para modificar un sistema de un estado de equilibrio a otro), pero no sirven para predecir la rapidez (tiempo) con que pueden producirse estos cambios. La transferencia de calor, complementa los principios termodinámicos, proporcionando métodos de análisis que permitan predecir esta velocidad de transferencia térmica. (Cobos y Torres, 2020).

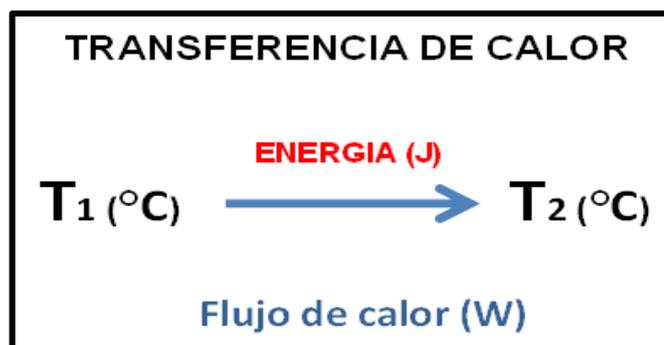


Figura 39: Diagrama de transferencia de calor

Elaboración: Los autores

En la figura 39, la transferencia de calor se muestra en el diagrama, la conversión de temperatura ambiente a temperatura deseable.

Modos de transferencia de calor

Calor latente

- Evaporación.

Calor sensible

En la figura 40, se muestra una imagen de los tipos de transferencia de calor.

- Conducción
- Convección
- Radiación

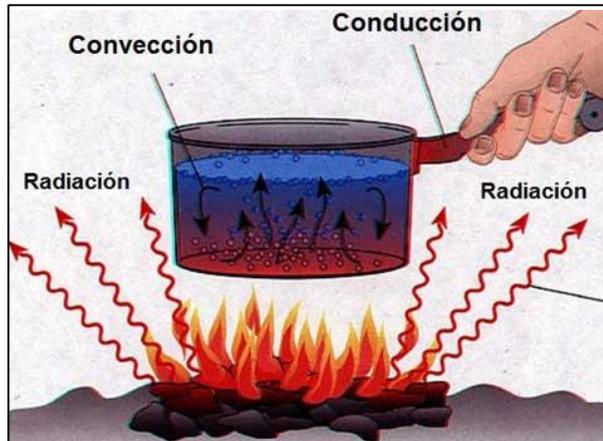


Figura 40: Tipos de transferencia de calor

Fuente: <https://bit.ly/3RCJi8S>

Transferencia de calor por convección

En este sistema de intercambio de calor, un fluido en movimiento (gas o líquido) transfiere la energía térmica entre dos zonas.

La transmisión de calor por convección puede ser:

- Forzada: a través de un ventilador (aire) o bomba (agua) se mueve el fluido a través de una zona caliente y éste transporta el calor hacia la zona fría.
- Natural: el propio fluido extrae calor de la zona caliente y cambia su densidad haciendo que se desplace hacia la zona más fría donde cede su calor.

Cuanto mayor sea la velocidad del fluido, mayor será la velocidad de transferencia de calor. La transferencia de calor por convección depende de las propiedades del líquido (densidad, viscosidad y velocidad del fluido).

2.3.7.2 Determinación de la potencia de la resistencia eléctrica

Para ello, se requiere de potencia eléctrica para el consumo de energía en una unidad de tiempo. Y que es comúnmente usado por los fabricantes para calentar líquidos en grandes volúmenes usando resistencias eléctricas con transferencia de calor natural la cual se muestra en la expresión (a).

$$P = \frac{E}{T} \quad (16)$$

Dónde:

P: potencia necesaria (W).

E: energía necesaria (J).

T: tiempo en segundos (seg).

Introducir calor en una cantidad de agua conocida se requerirá de la ecuación fundamental de la Calorimetría, y será calculado el calor generado en una resistencia (Efecto Joule) por lo cual para medir este calor, puede recolectarse en un cuerpo de agua y controlarse mediante la temperatura. La cantidad de calor absorbido por la masa del material (en este caso agua) que se calienta, se halla:

Sabemos que:

$$E = M \times C_e \times (T_F - T_O) \quad (17)$$

Dónde:

E: energía necesaria (J).

M: masa del líquido a calentar (gr).

C_e: calor específico (cal/gr. °C).

T_F: Temperatura Inicial (C°).

T_O: Temperatura Final (C°).

Reemplazando (b) en (a)

$$P = \frac{M \times C_e \times (T_F - T_O)}{T} \quad (18)$$

2.3.7.3 Circuito acondicionador para activación de resistencia eléctrica

Los circuitos acondicionadores son seguros para que proteja el microcontrolador ante una posible descarga de la corriente alterna y poder controlar la activación de la resistencia eléctrica, cuando se encuentre a una temperatura inferior al rango establecido.



Figura 41: Diagrama de Bloques para el actuador

Elaboración: Los autores

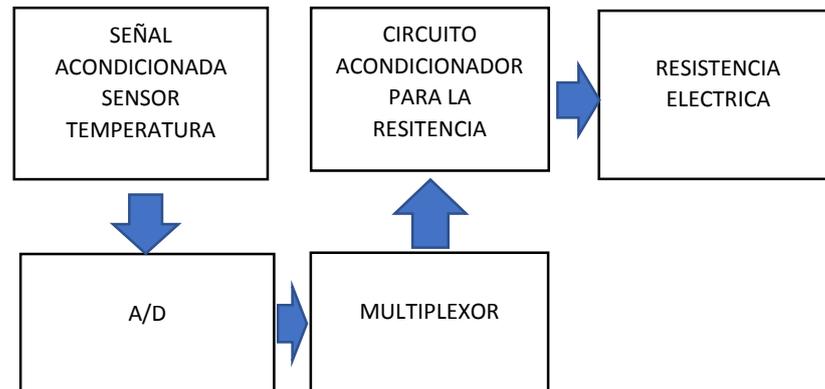


Figura 42: Diagrama de Sub Componentes para el actuador

Elaboración: Los autores

Para la activación de la resistencia eléctrica, depende del procesamiento de la señal de la temperatura para las detecciones de máximos o mínimos grados de temperatura para que a través de una multiplexación de

la señal proceder con la señal de activación y posteriormente ingresar al circuito acondicionador de la activación de la resistencia eléctrica. Por lo que para el circuito acondicionador se tendrá en cuenta los siguientes conceptos:

2.3.7.3.1 Optoacoplador

De acuerdo con Francisco Javier del Pino Suarez de la Universidad de las Palmas de Gran Canaria indica que los dispositivos ópticos de acoplamiento son dispositivos de emisión y recepción que funciona como un interruptor accionado por la luz emitida por un LED que satura un elemento optoelectrónico, generalmente en forma de fototransistor o fototriac. De esta forma se combinan en un solo dispositivo, un fotoemisor y un fotorreceptor cuya conexión es óptica entre ambos.

Debido a esta característica, los optoacopladores funcionan mejor cuando se combinan con interruptores de encendido/apagado y la transferencia de datos digitales.

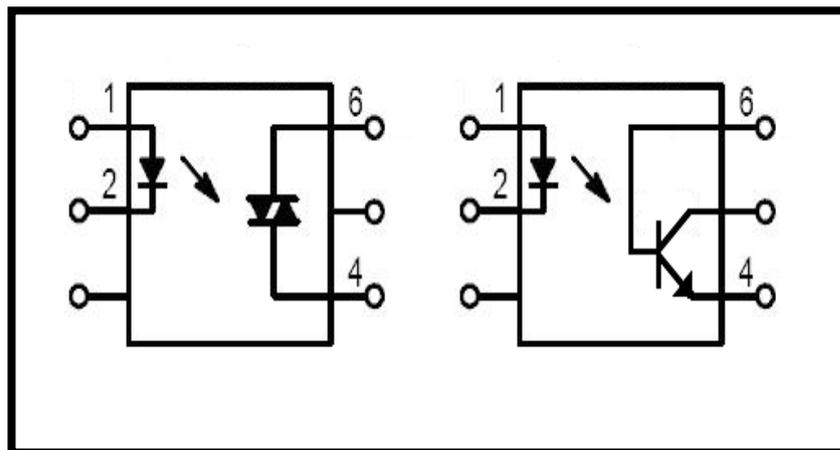


Figura 43: Símbolos de optoacopladores, optotriac (izquierda), optotransistor (derecha)

Fuente: Datasheet MOC3041

2.3.7.3.2 Triac

En la etapa de potencia, se implementan los triacs por contar con diferentes ventajas como la conexión, alta velocidad de conmutación, durabilidad bajo nivel de ruido. En la figura 44, se muestra el triac es un semiconductor de la familia de los tiristores.

Su versatilidad lo hace ideal para el control de corrientes alternas.

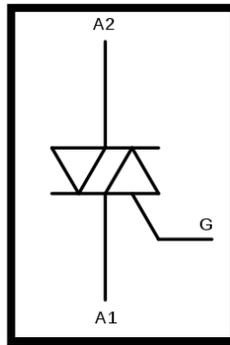


Figura 44: Diagrama simbólico de un triac

Fuente: <https://bit.ly/3zg6mTT>

2.3.7.3.3 Diseño de Circuito para Activación de Resistencia Eléctrica

La siguiente figura 45 muestra el circuito driver para la activación de la resistencia eléctrica.

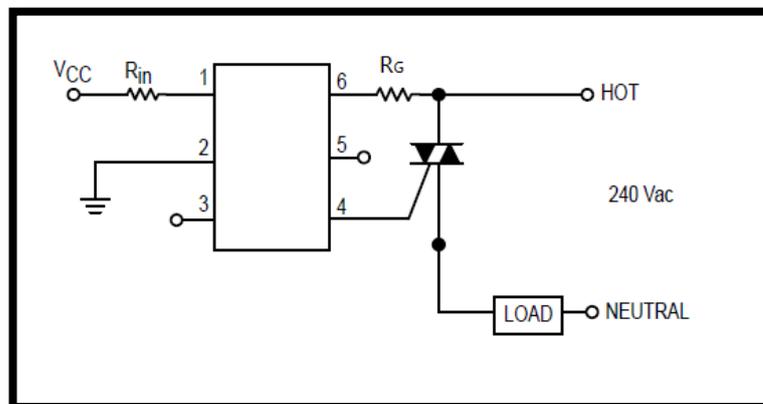


Figura 45: Circuito driver microcontrolador, etapa de potencia

Elaboración: Los autores

En la figura 45, la Etapa disparador de activación LED, se muestra la resistencia de entrada (R_{in}) a calcular, para el diseño en la etapa del Optoacoplador.

Voltaje de entrada (V_{cc}), El voltaje de entrada se tomará del microcontrolador.

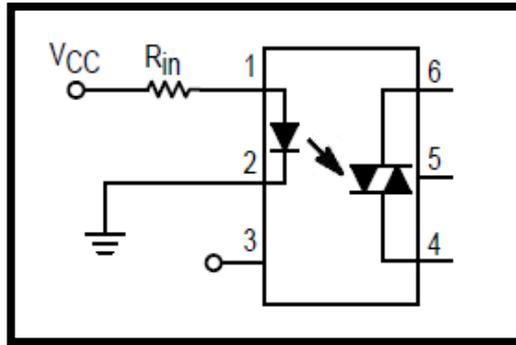


Figura 46: Diseño para optoacoplador

Elaboración: Los autores

Por ley de Ohm se tiene:

$$R_{in0} = \frac{V_{Mic} - V_{LED}}{I_{Rin0}} \quad (19)$$

Dónde:

- R_{in0} : Resistencia de Entrada del Optoacoplador (Ω).
- V_{Mic} : Voltaje seleccionado del microcontrolador (V).
- V_{led} : Voltaje de led (V), de acuerdo con el DataSheet.
- I_{rin0} : Corriente de activación (mA).

En la etapa de activación del triac, en Figura 47, muestra la resistencia de entrada (R_G) para el cálculo del Voltaje del terminal típico 1.3V entre los terminales 1 y 2 del triac, corriente de la puerta de disparo típica del triac es 30mA como máximo, Voltaje del terminal típico 0.3V entre los terminales 6 y 4 del MOC304, voltaje de la puerta de disparo típica del triac 0.7V

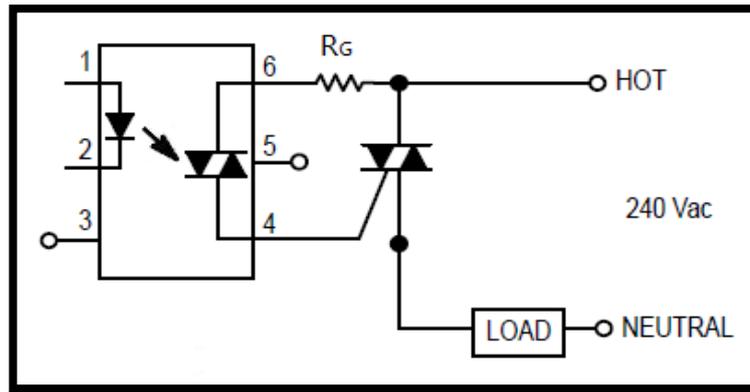


Figura 47. Diseño para TRIAC

Elaboración: Los autores.

Por ley de Ohm se tiene:

$$R_G = \frac{V_T - V_{TMOC} - V_{GT}}{I_{GT}} \quad (20)$$

Dónde:

- V_T : Voltaje de terminal típico entre Terminal 1 y Terminal 2 (V).
- V_{TMOC} : Voltaje de terminal típico entre Terminal 4 y Terminal 6 (V).
- V_{GT} : Voltaje de la puerta de disparo típico del triac.
- I_{GT} : Corriente de la puerta de disparo típico del TRIAC (mA).
- R_G : Resistencia de entrada al TRIAC (Ω).

2.3.8 Sistema de control ON-OFF

El control ON-OFF es considerado como el sistema del todo-nada o abierto-cerrado, ya que se basa en un control por realimentación, en el cual se encuentra dos únicas posiciones donde uno será el elemento final de control. Uno de ellos sólo ocupa alguna de las dos posibles posiciones comportándose como un interruptor: encendido (100%) y apagado (0%). La salida del controlador va de extremo a extremo cuando el valor de la variable controlada es diferente al valor deseado. (Gonzales, 2015)

Es importante reconocer que este sistema, tiene una variación cíclica continua en la variable que se controla, así mismo que el controlador no tiene la capacidad de generar valores exactos en la variable controlada y su funcionamiento es con mínimo tiempo de retardo. Es por ello, que estos controladores son de amplio uso principalmente en sistemas de regulación de temperatura. (Gonzales, 2015)

La existencia del tiempo muerto es un factor importante en la regulación del controlador siendo éste muy pequeño o ya sea un circuito electrónico donde la velocidad de respuesta es muy elevada, es por ello que el resultado sobre el elemento final de control será inevitable.

$$U_c(s) = \begin{bmatrix} 100\% & \text{Si } \varepsilon(s) > 0 \\ 0\% & \text{Si } \varepsilon(s) < 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

2.3.9 Sistema de monitoreo

El origen del sistema de monitoreo se encuentra en monitor, un aparato que toma imágenes de instalaciones filmadoras o sensores y que permite visualizar algo en una pantalla. El monitor por lo tanto ayuda a controlar o supervisar una situación, estos nos permite inferir que el monitoreo es la acción y el efecto de monitorear, el verbo que se utiliza para nombrar a la supervisión o el control realizado a través de un monitor. Por extensión, el monitoreo es cualquier acción de este tipo, más allá de la utilización de un monitor. (Pérez & Gardey, 2010)

Entonces, a rasgos generales, el sistema de monitoreo consiste en la observación del curso de uno o más parámetros para detectar eventuales anomalías. En el ámbito de la seguridad, el monitoreo puede realizarse efectivamente a través de un monitor que transmite las imágenes captadas por una cámara o mediante el trabajo de algún vigilante. Si esta persona descubre algún movimiento extraño, tendrá que actuar para evitar una situación de riesgo. (Pérez & Gardey, 2010)

El monitoreo ambiental consiste en la observación del medio ambiente para recoger información relacionada con la contaminación. Por lo general, se establecen estaciones fijas que registran a diario los niveles de agentes extraños en la atmosfera, y unidades móviles que se encargan de

tareas tales como la vigilancia y la inspección de diversas zonas. Algunos de los parámetros que miden son la temperatura, la velocidad y la dirección del viento, la presión de la atmosfera, la radiación del sol y las precipitaciones. (Pérez & Gardey, 2010)

Entre las anomalías que más comúnmente hacen reaccionar a los sistemas de monitoreo se encuentran las peticiones fallidas de estado, que pueden darse cuando una conexión no puede ser establecida, o cuando se agota el tiempo de espera, entre otras posibilidades. Las acciones que se programan para combatir este tipo de situaciones son diversas; las dos opciones preferidas son el envío de una alarma a los administradores de red y la puesta en marcha de algún programa de control de manera automática. (Pérez & Gardey, 2010)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1 Materiales

El sistema está integrado por una serie actuadores, sensores, dispositivo de monitoreo y componentes electrónicos; los cuales serán detallados sus especificaciones y funciones.

3.1.1 Raspberry Pi 3b

Para la elección del microcontrolador se tuvo que tener en cuenta varios aspectos, como número de entradas al microcontrolador, parámetros que se estudiarán en el prototipo, el número de salidas y entradas digitales o analógicas, cuales sensores son los más apropiados para el prototipo.

Los parámetros de interés para nuestro prototipo son la temperatura, pH y Oxígeno Disuelto.

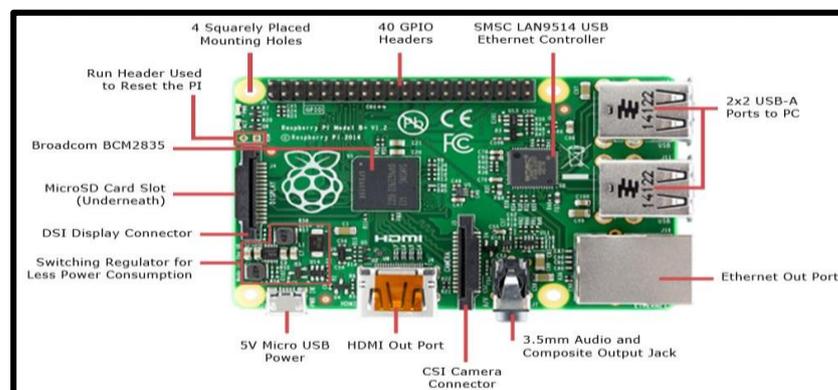


Figura 48. Raspberry pi 3

Fuente: <https://bit.ly/3OiJC9V>

La elección de la plataforma Raspberry se debe a que, además de simplificar el proceso de trabajo con microcontroladores, ofrece una serie de ventajas respecto a otros sistemas.

Entre las principales ventajas se encuentra su alto rendimiento y bajo consumo de recursos.

Tabla 4. Especificaciones Raspberry Pi 3 Model B

Procesador	Broadcom BCM2837B0, Cortex-A53 64-bit SoC @ 1.4GHz
Memoria	1GB LPDDR2 SDRAM
Conectividad	<ul style="list-style-type: none"> • 2.4GHz and 5GHz IEEE 802.11.b/g/n/ac wireless LAN, Bluetooth 4.2, BLE. • Gigabit Ethernet over USB 2.0 (maximum throughput 300Mbps) • 4 x USB 2.0 ports
Acceso	Extended 40-pin GPIO header
Video y sonido	<ul style="list-style-type: none"> • 1 x full size HDMI • MIPI DSI display port • MIPI CSI camera port • 4 pole stereo output and composite video port
Multimedia	H.264, MPEG-4 decode (1080p30); H.264 encode (1080p30); OpenGL ES 1.1, 2.0 graphics.
Tarjeta SD	Micro SD format for loading operating system and data storage.
Poder de entrada	<ul style="list-style-type: none"> • 5V/2.5A DC via micro USB connector • 5V DC via GPIO header • Power over Ethernet (PoE)–enabled (requires separate PoE HAT)

Fuente: Raspberry.org. Recuperado de

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>

3.1.2 Pantalla Táctil de 7”

Utilizado para la visualización del diseño, cuenta con las siguientes especificaciones.

Tabla 5: Especificaciones pantalla táctil

Pantalla de 7 pulgadas
Resolución de la pantalla 800x480 pixels
10 puntos contacto capacitivo
Conexión con Raspberry mediante el puerto DSI
Requiere la última versión de Raspbian OS

Fuente:Raspberry.org



Figura 49: Pantalla táctil Raspberry pi

Fuente:Raspberry.org

3.1.3 Sensor de pH

Se utiliza para el diseño del sensor de pH de marca Atlas Scientific debido a que maneja un rango mínimo de error en la adquisición de datos.

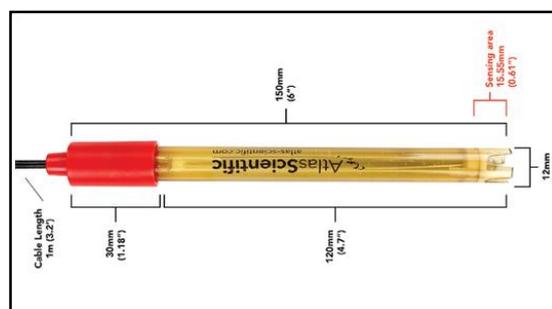


Figura 50. Sensor de pH atlas scientific.

Fuente: *Datasheet Probe pH Atlas Scientific.* (Recuperado en: https://www.atlas-scientific.com/files/pH_EZO_Datasheet.pdf)

Tabla 6. Especificaciones Sensor de pH Atlas Scientific.

Rango	0 - 14 Ph
Exactitud	+/- 0.002
Conector	BNC MACHO
Peso	49 gr
Dimensiones	12 mm x 150 mm
Tiempo de respuesta	95% en 1s
Presion maxima	100 PSI
Maxima profundidad	60 M
Rango de temperatura	1 - 99 °C
Longitud cable	1 M
Sensor de temperatura interno	NO
Tiempo antes de la recalibracion	1 año
Tiempo de vida	2.5 años

Fuente: *Datasheet Probe pH Atlas Scientific.* (Recuperado en: https://www.atlas-scientific.com/files/pH_EZO_Datasheet.pdf)

3.1.4 Sensor de oxígeno disuelto

Se utiliza para el diseño del sensor de oxígeno disuelto de marca Atlas Scientific debido a que maneja un rango mínimo de error en la adquisición de datos.

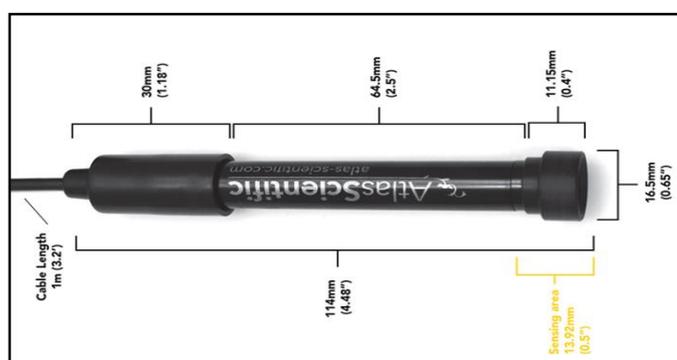


Figura 51: Sensor de oxígeno disuelto.

Fuente: *Datasheet Probe DO Atlas Scientific.* (Recuperado en: https://files.atlas-scientific.com/DO_EZO_Datasheet.pdf)

Tabla 7. Especificaciones Sensor de Oxígeno Disuelto.

Rango	0-20mg/L
Material del Cuerpo	Epoxy and Noryl
Temperatura Máxima	50 °C
Presión	650 kPa (100PSI)
Tipo de conector	BNC

Fuente: Datasheet Probe DO *Atlas Scientific*. (Recuperado en: https://files.atlas-scientific.com/DO_EZO_Datasheet.pdf)

3.1.5 Bomba de agua

La bomba de agua de marca xian tiene dos terminales; uno positivo y otro negativo. El positivo, que carga con un voltaje de 24Vdc, convierte la energía mecánica en energía hidráulica, están fabricados principalmente para irrigación de estanques, regadíos y almacenamiento de agua.

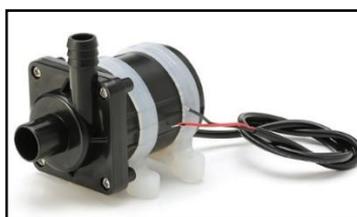


Figura 52: Bomba de agua.

Fuente: <https://bit.ly/3PBYd1h>

Tabla 8. Especificaciones de la bomba de agua.

Material	Plástico
Tamaño	80x48x63 mm
Potencia	26.4W
Voltaje de funcionamiento	DC 24V
Corriente de trabajo	150mA
Flujo máximo	900L/H
Ruido de la bomba	<45dB

Fuente: <https://bit.ly/3PBYd1h>

3.1.6 Triac BT138

Dispositivo semiconductor de 3 terminales que normalmente se utiliza para manipular el flujo de corriente, este dispositivo es bidireccional y puede ser bloqueado por la inversión de la tensión. Está diseñado para conectarse directamente a cualquier tipo de microcontroladores, circuitos integrados lógicos y otros circuitos de activación de puerta de baja potencia. (Mouser, 2013).

3.1.7 Sensor de temperatura DS18B20.

Se encuentra encapsulado en un tubo de acero inoxidable el cual es resistente al agua; posee un rango de trabajo el cual es desde los -55°C hasta 125°C y cuenta con resolución configurable. El presente sensor utiliza el protocolo 1-Wire para transmitir la información, este protocolo utiliza únicamente un pin de datos y permite interconectar adicionalmente más de estos sensores en el mismo bus de datos. (Maxim integrated, s.f.).



Figura 53: Sensor de temperatura ds18b20.

Fuente: *Datasheet del sensor ds18b20.*

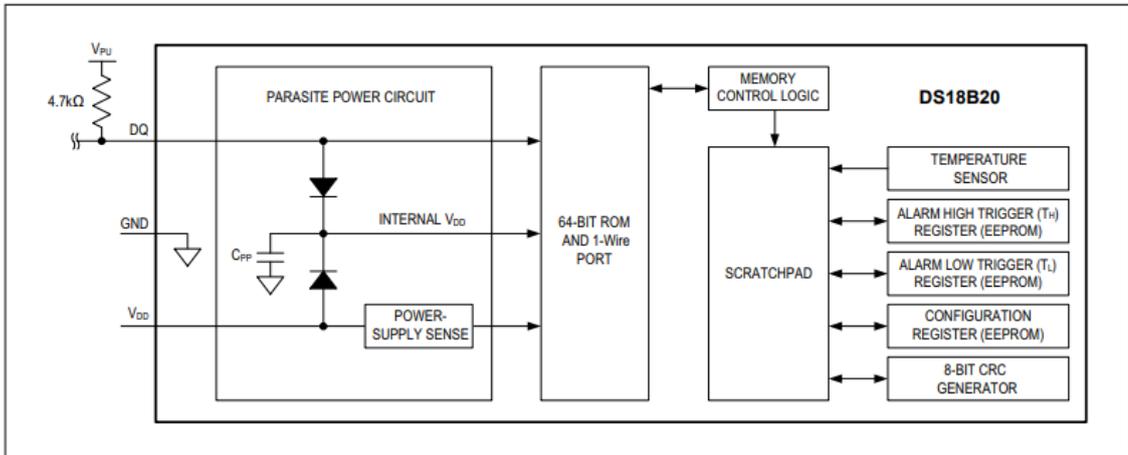


Figura 54: Diagrama de bloques del Ds18b20.

Fuente: *Datasheet del sensor ds18b20.*

3.1.8 Optoacoplador MOC3041

Los opto acopladores son mejor utilizados al asociarse con interruptores de ON/OFF y la transferencia de datos digitales.

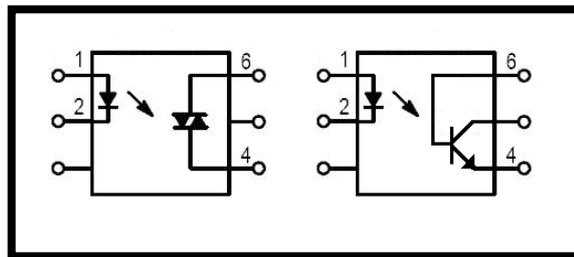


Figura 55. Símbolos de optoacopladores, optotriac (izquierda), optotransistor (derecha).

Fuente: Datasheet MOC3041.

Tabla 9. Especificaciones MOC3041.

Tensión inversa	6V
Corriente directa	60mA
Voltaje del terminal de salida fuera del estado	400V
Cruce de voltaje cero	

Fuente: Datasheet MOC3041.

3.2 Tabla de parámetros

Tabla 10. Parámetros divididos por etapas.

	Parámetros	Unidad	Función
ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO (T)	R_0	Ohm	Resistencia en ohms a 0°C del sensor de temperatura.
	R_t	Ohm	Resistencia en ohms a t °C.
	t	°C	Temperatura actual que muestra el sensor.
ETAPA DE ACONDICIONAMIENTO (pH)	E_H	V	Potencial medido a través de la membrana de vidrio (V).
	Ph	pH	Unidad de medida del nivel de pH
	R_{g_pH}	Ohm	Resistencia variable para el manejo de la ganancia de salida (Ω).
	R_1	Ohm	Resistencia comercial para generar ganancia (Ω).
	Av_ph		Ganancia de la señal del sensor de pH
	f_{c_ph}	Hz	Frecuencia de corte del filtro pasa bajo del sensor pH.
	V_{out_pH}	V	Voltaje de salida de la etapa de acondicionamiento del sensor de pH
	V_{REF_pH}	V	Voltaje de referencia suministrada al potencial del sensor de pH
ETAPA DE CALCULO DE RESISTENCIA ELECTRICA	M	gr	Volumen del agua a calentar
	Ce	Cal/gr °C	Calor específico del agua
	T_F	°C	Temperatura máxima que debe alcanzar.
	T_0	°C	Temperatura mínima que debe alcanzar.
	P	W	Potencia requerida para calentar la

			masa de agua a controlar
ETAPA DE CALCULO PARA DRIVER DE ACTIVACION DE RESISTENCIA	R_{in0}	Ohm	Resistencia de entrada para el optoacoplador.
	V_{MIC}	V	Voltaje seleccionado por el microcontrolador.
	I_{Rin0}	mA	Corriente de activación de la luz led.
	V_{GT}	V	Voltaje en la puerta de disparo en el TRIAC
	I_{GT}	mA	Corriente de la puerta de disparo típico del TRIAC
	R_G	Ohm	Resistencia de entrada al TRIAC

Elaboración: Los autores.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO

4.1 Bloque pictórico

En la figura 56, se presenta el diagrama de bloques pictórico del diseño de tesis, el cual cuenta con 4 etapas; en color rojo representa la etapa de adquisición de información de los sensores, de azul representa la etapa de control a cargo del microcontrolador Raspberry pi 3, en color verde se representa la etapa de driver's para activación de actuadores y por último de color morado representa la etapa de monitoreo donde se muestra los datos mediante una pantalla táctil.

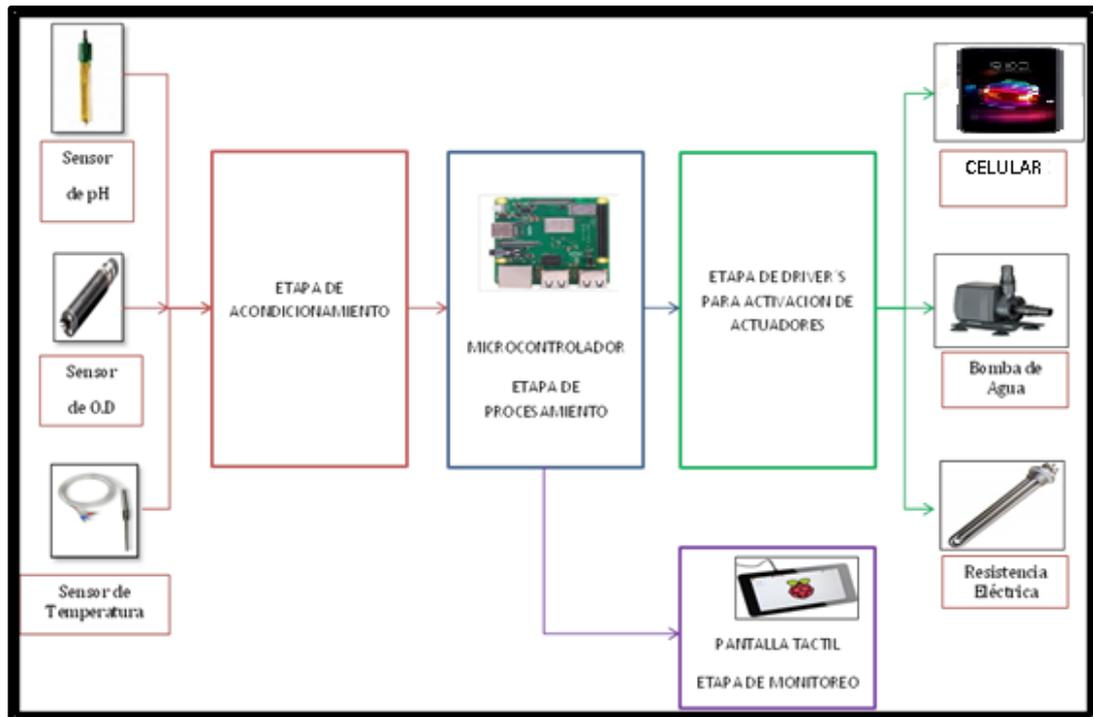


Figura 56: Diagrama pictórico

Elaboración: Los autores

4.2 Análisis de Etapa de Acondicionamiento del sensor de pH

4.2.1 Cálculo de Sensor de pH

$$E_H = E_0 - 2,3026 \frac{RT}{F} pH \quad (22)$$

La temperatura promedio en el agua es de 25°C equivalente a 298,15 K y con los datos de las constantes, reemplazando en la ecuación (4), se tiene. Según informe de servicio de agua potable y alcantarillado de Lima y Callao. Indica que la temperatura promedio del agua en Lima Metropolitana es de 19°C.

$$E_H = E_0 - 2,3026 \frac{RT}{F} pH \quad (23)$$

Para 19°C es equivalente 292.15 K

T= 292.15 K

R= 8.314 J/mol K

F= 96484.556 C/mol

$$E_H = E_O - 2,3026 \frac{8,314 \frac{J}{molK} \times 292,15 K}{96484,556 \frac{C}{mol}} pH \quad (24)$$

$$E_H = E_O - (0,05797V)pH \quad (25)$$

Para pH=7 el diferencial de voltaje $E_H = 0$

$$0 = E_O - (0,05797V) \times 7 \quad (26)$$

$$E_O = (0,05797V) \times 7 \quad (27)$$

$$E_O = 0,40579 V \quad (28)$$

Por ejemplo se toma los siguientes niveles de pH

pH= 6.

T= 292.15 K

R= 8.314 J/mol K

F= 96484.556 C/mol

$$E_H = E_O - (0,05797V)pH \quad (29)$$

$$E_H = 0,40579 - (0,05797V) \times 6 \quad (30)$$

$$E_H = 0,05797 \quad (31)$$

pH= 8.

T= 292.15 K

R= 8.314 J/mol K

F= 96484.556 C/mol

$$E_H = E_O - (0,05797V)pH$$

$$E_H = 0,40579 - (0,05797V) \times 8 \quad (32)$$

$$E_H = -0,05797 \quad (33)$$

Se presenta tabla para los diferentes niveles de pH en relación al Potencial medido a través de la membrana de vidrio (E_H)V.

Tabla 11. Potencial de membrana de vidrio del sensor de pH en relación con el nivel de pH.

E_0	Valor Calculado	pH	E_H
0.40579	0.05797	0	0.40579
0.40579	0.05797	1	0.34782
0.40579	0.05797	2	0.28985
0.40579	0.05797	3	0.23188
0.40579	0.05797	4	0.17391
0.40579	0.05797	5	0.11594
0.40579	0.05797	6	0.05797
0.40579	0.05797	7	0
0.40579	0.05797	8	-0.05797
0.40579	0.05797	9	-0.11594
0.40579	0.05797	10	-0.17391
0.40579	0.05797	11	-0.23188
0.40579	0.05797	12	-0.28985
0.40579	0.05797	13	-0.34782
0.40579	0.05797	14	-0.40579

Elaboración: Los autores.

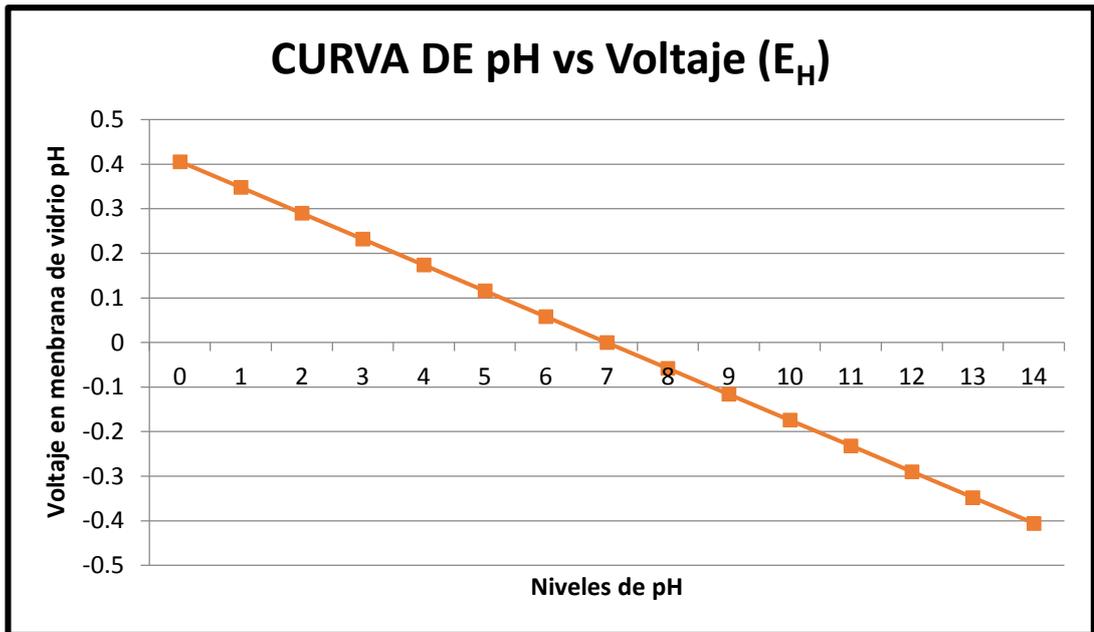


Figura 57: Potencial de membrana de vidrio vs nivel de pH

Elaboración: Los autores

4.2.2 Acondicionamiento del Sensor de pH

Esta etapa de acondicionamiento permitirá una mayor resolución y estabilidad en los voltajes enviados por el sensor de pH en el microcontrolador para su respectivo monitoreo y control.

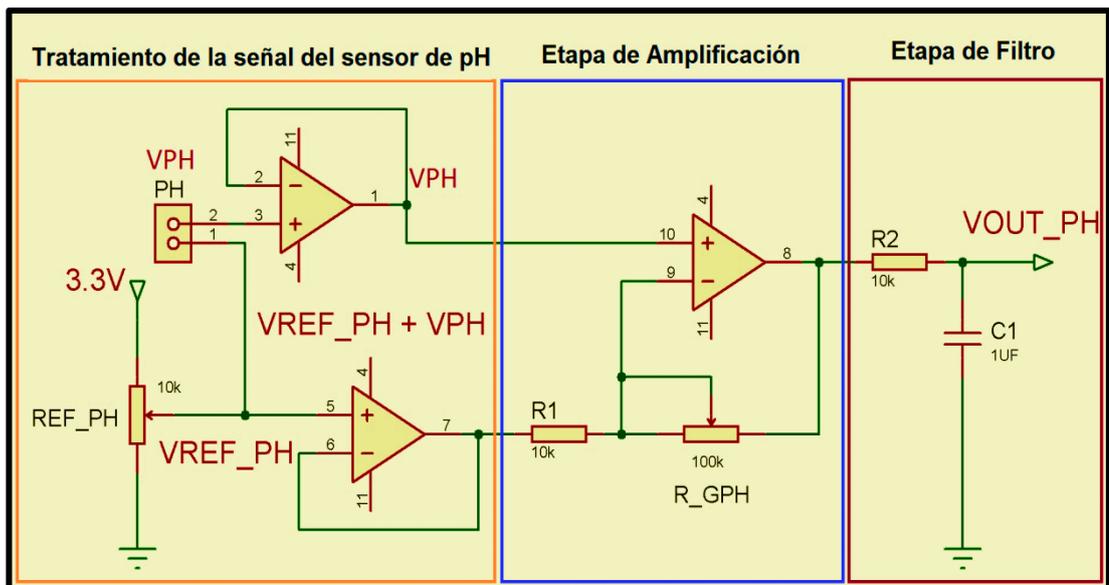


Figura 58: Circuito de acondicionamiento del sensor de pH

Elaboración: Los autores

En la Figura 58 se muestra el diseño del circuito acondicionador seleccionado en círculos de colores las etapas que conforma dicho circuito a continuación el análisis de cada etapa.

4.2.2.1 Tratamiento de la señal del sensor de pH

El sensor de pH cuenta con una impedancia de entrada elevada, y para la medición no se logra visualizar los valores correctos. Por consiguiente es importante una etapa previa de seguidor de voltaje para la reducción de la impedancia debido que útil para poder leer la tensión de salida del sensor de pH.

Por ello lo ideal es tener voltaje de salida sea el mismo con el voltaje de entrada del sensor de pH.

$$E_H = V_{PH} \quad (34)$$

Dónde:

V_{pH} : Voltaje de salida de sensor de pH es el mismo de la membrana del sensor de pH a usar(V).

Se añade un tensión de referencia agrega un voltaje continuo estable a corto y largo plazo se utiliza como referencia estándar debido a que se necesita un voltaje superior a la alimentación de los Opamp.

$$V_{REF_pH} + V_{pH} \quad (35)$$

Dónde:

V_{REF_pH} : Voltaje de referencia suministrado a la señal eléctrica del sensor de pH (V).

V_{pH} : Voltaje de salida de sensor de pH (V).

Para nuestro diseño se usara voltaje de referencia (V_{REF_pH}) entre 1.5V a 3.3V, para el diseño se utiliza un voltaje de referencia de 2.070V como se muestra en la tabla 6.

Tabla.12 Sumatoria de voltaje de referencia con el voltaje del sensor de pH según niveles de pH.

pH	V _{REF_pH}	V _{Ph}	V _{REF_pH} + V _{Ph}
0	2.070	0.40577	2.47577
1	2.070	0.34780	2.41780
2	2.070	0.28983	2.35983
3	2.070	0.23187	2.30187
4	2.070	0.17390	2.24390
5	2.070	0.11593	2.18593
6	2.070	0.05797	2.12797
7	2.070	0.00000	2.07000
8	2.070	-0.05797	2.01203
9	2.070	-0.11593	1.95407
10	2.070	-0.17390	1.89610
11	2.070	-0.23187	1.83813
12	2.070	-0.28983	1.78017
13	2.070	-0.34780	1.72220
14	2.070	-0.40577	1.66423

Elaboración: Los autores.

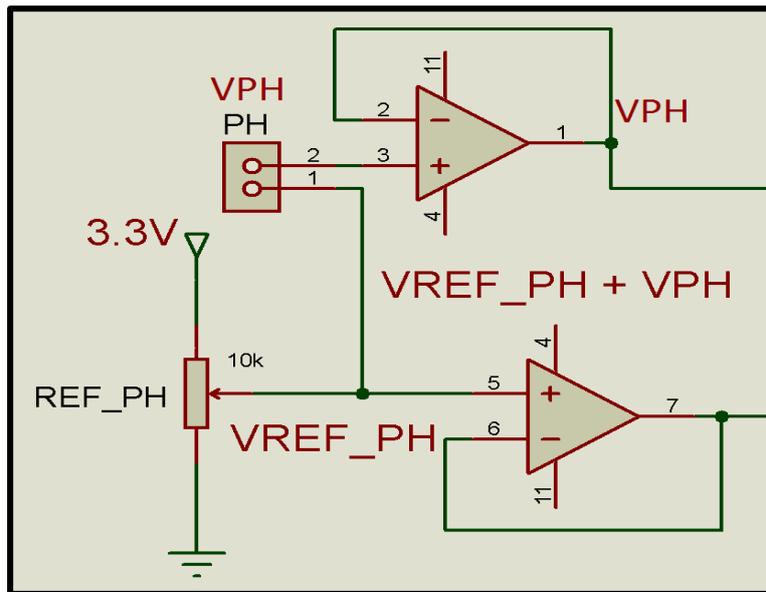


Figura 59: Etapa de tratamiento de señal del Sensor de pH.

Elaboración: Los autores.

4.2.2.2 Etapa de Amplificación

Con la señal estabilizada en el rango de acuerdo a los niveles de pH, lo que procede es amplificarla, ya que, si se tiene una señal analógica con amplitud muy pequeña, será complicado asignar valores suficientes para realizar la detección de la frecuencia de la señal de entrada.

De acuerdo a la configuración que utiliza el OpAmp y que trabaja como máximo de amplificación 5 V DC debido al suministro de voltaje que se trabajara, dada la señal del sensor de pH se encuentra en el rango de los milivoltios, para realizar una mejor lectura en la digitalización se realizara el diseño de amplificación de la señal aproximadamente por 10 veces, esto quiere decir que el cociente entre resistencias R_{G_pH} y R_1 debe dar un aproximado de 10. Utilizando la ecuación 7 que obedece a la configuración del OpAmp mencionada anteriormente, se reemplaza el valor de la resistencia R_{G_pH} que deberá ser de 100 K Ω y R_1 que deberá ser de 10 K Ω tal como se muestra en la ecuación.

A la salida del amplificador se tendrá una señal proporcional a los voltajes de entrada, por lo tanto es proporcional al desplazamiento.

$$A_{V_{ph}} = \frac{V_0}{V_i} = \frac{R_{G_{pH}}}{R_1} + 1 \quad (36)$$

Dónde:

- $R_{G_{pH}}$: Resistencia variable para el manejo de la ganancia de salida (Ω).
 R_1 : Resistencia comercial para generar ganancia (Ω).

$$A_{V_{ph}} = \frac{V_0}{V_i} = \frac{100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} + 1 \quad (37)$$

$$A_{V_{ph}} = \frac{V_0}{V_i} = 11 \quad (38)$$

$$V_0 = 11 \times V_i \quad (39)$$

Como resultado se obtiene una ganancia de 11 voltios como se muestra en la ecuación (39), como se requería aproximadamente. Esto quiere decir que, para una señal de entrada (V_i), a la salida (V_o) se obtendrá aproximadamente una ganancia (A_v) de 11 veces el voltaje de entrada.

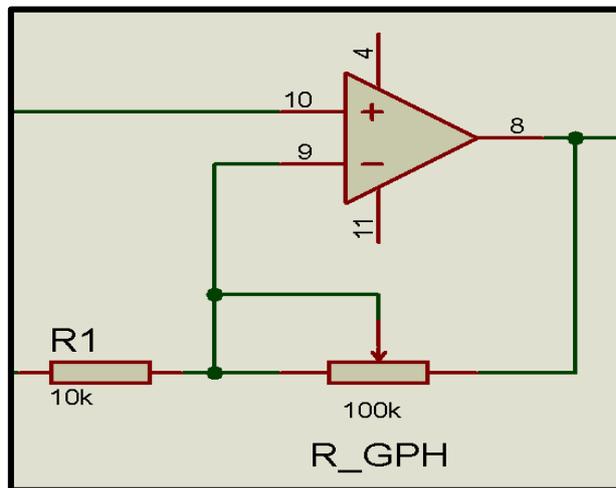


Figura 60: Simulación de la etapa de amplificación.

Elaboración: Los autores.

En la Figura 60 se muestra el circuito de tratamiento de señal y el circuito amplificador para posteriormente pasar por un filtro pasa baja pasivo.

4.2.2.3 Etapa de Filtro Pasa Bajo Pasivo

Filtro que permite el paso de las frecuencias muy bajas y atenuar las más altas.

$$f_{c_ph} = \frac{1}{2 \times \pi \times R2 \times C1} \quad (40)$$

Se realizará el diseño de un filtro pasa bajo pasivo para la etapa de salida de la señal amplificada con frecuencia de corte $F_c = 16$ Hz aproximadamente que es la tolerancia máxima que trabaja el sensor de pH a utilizar en el diseño, con dispositivos comerciales se realizo la etapa de filtro pasa baja pasivo.

Para la F_c deseada de 16 Hz:

$$R2=10K\Omega$$

$$C1=1\mu F$$

$$f_{c_ph} = \frac{1}{2 \times \pi \times 10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} \quad (41)$$

$$f_{c_ph} = 15.915 \text{ Hz} \quad (42)$$

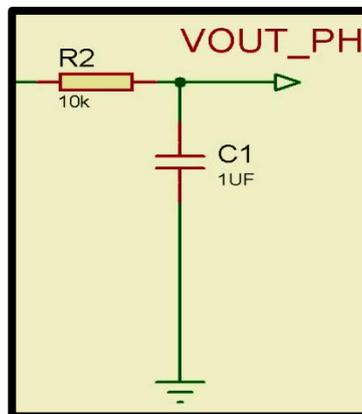


Figura 61: Filtro pasa bajo.

Elaboración: Los autores.

Después de la última etapa de filtro, se obtiene el voltaje de salida acondicionado para cuantificarlo en el microcontrolador y calibrarlo con los buffers de niveles de pH(4,7 y 10) establecidos.

$$V_{out_pH} = V_{REF_pH} + V_{pH} \times \left(1 + \frac{R_{GpH}}{R_1} \right) \quad (43)$$

Para pH: 7, se tiene los siguientes valores:

$$V_{REF_pH} = 2.070 \text{ V}$$

$$V_{pH} = 0 \text{ V}$$

$$R_{G_Ph} = 100 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$V_{out_pH} = 2.070 + 0 \times \left(1 + \frac{100 \text{ K } \Omega}{10 \text{ K}\Omega} \right) \quad (44)$$

$$V_{out_pH} = 2.070 \text{ V} \quad (45)$$

Tabla.13 Voltaje de salida de la etapa de acondicionamiento del sensor de pH según niveles de pH.

pH	V_REF (V)	V_Ph (V)	R_GPH (Ω)	R1 (Ω)	V_out_Ph (V)
0	2.070	0.40577	100000	10000	6.53342
1	2.070	0.34780	100000	10000	5.89578
2	2.070	0.28983	100000	10000	5.25815
3	2.070	0.23187	100000	10000	4.62052
4	2.070	0.17390	100000	10000	3.98289
5	2.070	0.11593	100000	10000	3.34526
6	2.070	0.05797	100000	10000	2.70763
7	2.070	0.00000	100000	10000	2.07000
8	2.070	-0.05797	100000	10000	1.43237
9	2.070	-0.11593	100000	10000	0.79474
10	2.070	-0.17390	100000	10000	0.15711

11	2.070	-0.23187	100000	10000	-0.48052
12	2.070	-0.28983	100000	10000	-1.11815
13	2.070	-0.34780	100000	10000	-1.75578
14	2.070	-0.40577	100000	10000	-2.39342

Elaboración: Los autores.

Para el desarrollo de nuestro diseño nos interesa la salida de voltaje de los niveles de pH entre 4 y 10 para posteriormente calibrar de acuerdo a la ganancia necesaria.

4.3 Análisis de Etapa de Acondicionamiento del sensor de Oxígeno Disuelto

La etapa de acondicionamiento permitió una mayor resolución y estabilidad para la lectura de las señales emitidas por el sensor de Oxígeno Disuelto hacia el microcontrolador para el control y monitoreo remoto.

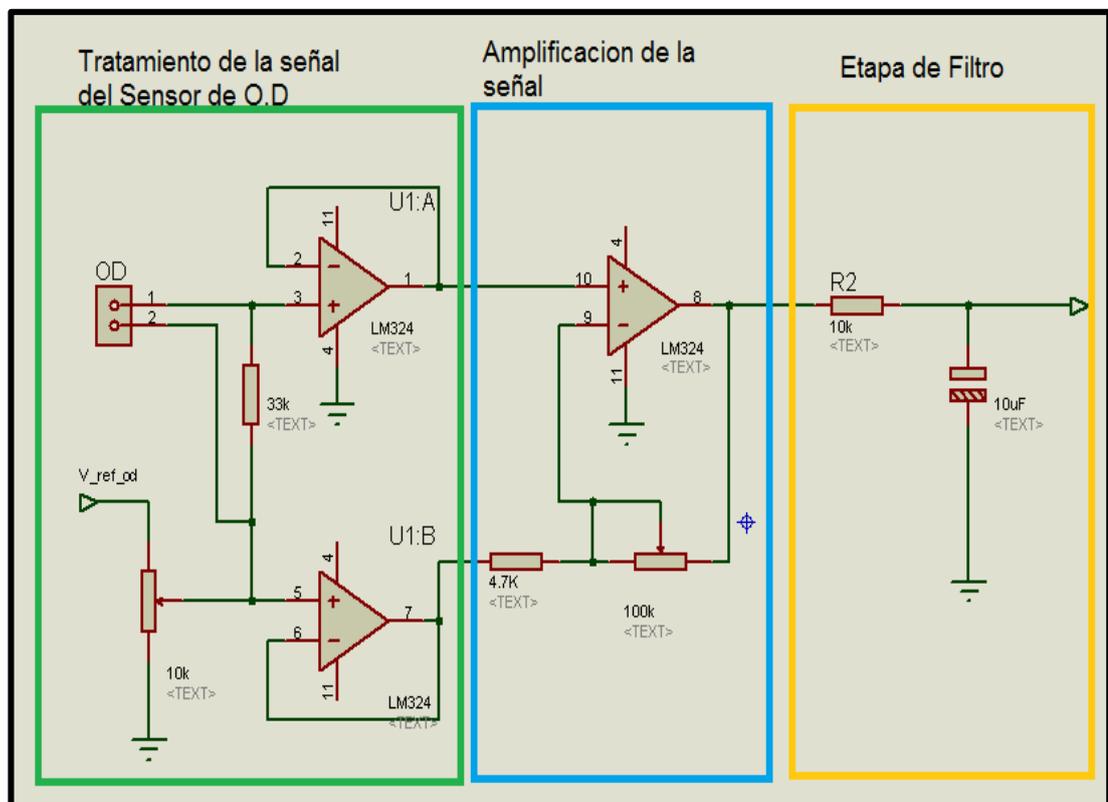


Figura 62: Circuito de acondicionamiento del sensor de Oxígeno Disuelto.

Elaboración: Los autores.

4.3.1 Tratamiento de la señal del sensor de Oxígeno Disuelto

El sensor de Oxígeno Disuelto elegido tiene como función medir la corriente generada en la celda de medida por la reducción del oxígeno que atraviesa la membrana hacia la celda y siendo del tipo galvánico funciona como una pila y generan su propia FEM. (Universidad Nacional de Quilmes, 2011).

Por ello se colocó una resistencia de $33\text{k}\Omega$ en la entrada del circuito debido a que; como estamos usando un sensor de oxígeno galvánico que trabaja con corriente que se encuentra en el orden de los micro amperios, ya con esta resistencia de entrada se podrá trabajar en voltios y así de esta manera trabajar la señal del sensor de manera más sencilla

Se ajustó el $V_{\text{ref_OD}}=1.6\text{v}$.

4.3.2 Amplificación de la señal

$$A_V = \frac{V_0}{V_i} = \frac{R_{G_OD}}{R_3} + 1 \quad (46)$$

Dónde:

- R_{G_OD} : Resistencia variable para el manejo de la ganancia de salida (Ω).
 R_2 : Resistencia comercial para generar ganancia (Ω).

$$A_V = \frac{V_0}{V_i} = \frac{100\text{ k}\Omega}{4.7\text{ k}\Omega} + 1 \quad (47)$$

$$A_V = \frac{V_0}{V_i} = 22 \quad (48)$$

$$V_0 = 22 \times V_i \quad (49)$$

Se ajustó $100\text{k}\Omega$ para que el voltaje de salida se encuentre entre los niveles 0.8v a 2.4v . El valor de 0.8v corresponde cuando la sonda estaba sumergida en la solución de oxígeno cero y el valor de 2.4v corresponde cuando la sonda estaba en aire libre.

4.3.3 Etapa de Filtro Pasa Bajo Pasivo

Filtro que permite el paso de frecuencias muy bajas y atenuar las más altas.

$$f_{c_OD} = \frac{1}{2 \times \pi \times R2 \times C1} \quad (50)$$

Se realizará el diseño de un filtro pasa bajo pasivo para la etapa de salida de la señal amplificada con frecuencia de corte $F_c = 16$ Hz aproximadamente que es la tolerancia máxima que trabaja el sensor de pH a utilizar en el diseño, con dispositivos comerciales se realizó la etapa de filtro pasa baja pasivo.

Para la F_c deseada de 16 Hz:

$R2=10K\Omega$

$C1=1\mu F$

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times 10 \times 10^3 \times 1 \times 10^{-6}} \quad (51)$$

$$f_c = 15.915 \text{ Hz} \quad (52)$$

4.4 Análisis de Etapa de Acondicionamiento del sensor de Temperatura

Cálculo de Sensor de Temperatura PT 100 RTD.

Una de las etapas para calcular el valor de la temperatura por medio del PT100 y el módulo MAX31865 es la linealización de la temperatura.

Para un rango de temperatura de -100°C y 100°C , la aproximación de la temperatura se puede hacer utilizando los datos del RTD como:

$$\text{Temperatura } (^\circ\text{C}) = (\text{ADC code} / 32) - 256. \quad (53)$$

Esta ecuación nos da error de 0°C cuando está en 0°C , -1.75° de error a -100°C asumiendo que IEC751 RTD. Para una alta precisión, usar la ecuación de Callendar Van Dusen o una tabla de búsqueda para verificar la no linealidad de los RTD.

La siguiente etapa es la de convertir los datos análogo a digital (ADC), el AD tiene entradas analógicas diferenciales, RTDIN+ y RTDIN-, y entradas de referencia diferenciales, REFIN+ y REFIN-.

El código de salida representa la Relación entre la tensión de entrada analógica y la referencia de voltaje.

Un voltaje de entrada negativo produce un código de salida 0, por otro lado un voltaje de entrada mayor que la tensión de referencia produce una salida a gran escala.

Para la conversión del registro e datos del RTD, se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{rtd} = (ADC\ Code \times R_{ref}) / 2^{15} \quad (54)$$

Donde:

ADC Code = 15bit ADC (resultados de RTD Registro de Datos)

Rref= Resistencia del resistor de referencia.

Table 9. Temperature Example for PT100 with 400Ω R_{REF}

TEMPERATURE (°C)	RTD RESISTANCE (Ω)	RTD DATA REG (01h-02h) (hex)	ADC CODE (dec)	ADC CODE/32-256 (°C)
-200	18.52	0BDAh	1517	-208.59
-175	29.22	12B4h	2394	-181.19
-150	39.72	196Ch	3254	-154.31
-125	50.06	200Ah	4101	-127.84
-100	60.26	2690h	4936	-101.75
-75	70.33	2D04h	5762	-75.94
-50	80.31	3366h	6579	-50.41
-40	84.27	35EEh	6903	-40.28
-30	88.22	3876h	7227	-30.16
-20	92.16	3AFCh	7550	-20.06
-10	96.09	3D7Eh	7871	-10.03
0	100.00	4000h	8192	0.00
10	103.90	4280h	8512	10.00
20	107.79	44FCh	8830	19.94
30	111.67	4778h	9148	29.88
40	115.54	49F2h	9465	39.78
50	119.40	4C6Ah	9781	49.66
60	123.24	4EE0h	10096	59.50
70	127.08	5154h	10410	69.31
80	130.90	53C6h	10723	79.09
90	134.71	5636h	11035	88.84
100	138.51	58A4h	11346	98.56

Figura 63: Tabla de ejemplos para Pt100 con Rref de 400 Ohms.

Fuente: Datasheet MAX31865.

4.4.1 Acondicionamiento del Sensor de Temperatura PT 100 RTD.

El mismo módulo MAX31865, internamente cuenta con sus diagramas de bloques definidos completamente en su Datasheet, tal y como se muestra en la siguiente figura:

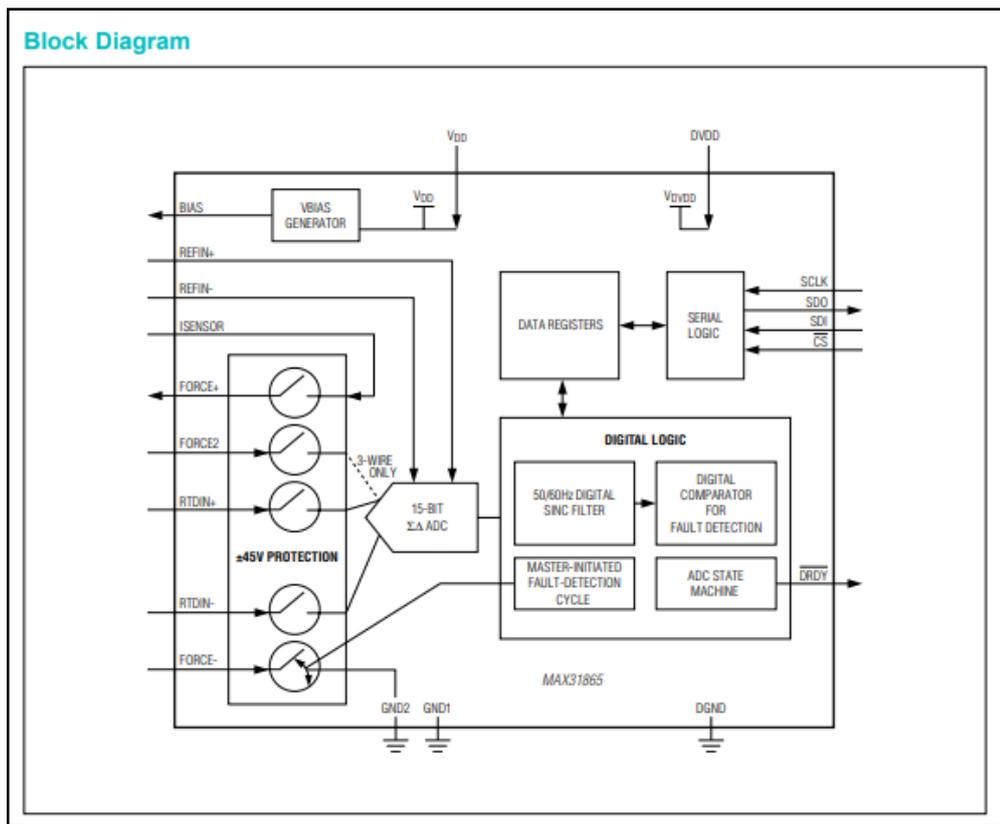


Figura 64: Diagrama de bloques del módulo Max31865

Fuente: Datasheet MAX31865.

Como comentario se puede observar que entre los principales bloques son:

- Conversión de temperatura
- Linealización de temperatura.
- Conversión analógico a digital.
- Detención de fallos y protección de entrada.
- Configuración de registros.

4.4.2 Diagrama de Flujo para activación de Resistencia Eléctrica



Figura 65: Diagrama de flujo activador resistencia eléctrica.

Elaboración: Los autores.

4.4.3 Cálculo para diseño de Resistencia Eléctrica

La temperatura del ambiente idóneo para el crecimiento de las Tilapias varía entre 17 °C hasta 30 °C y hasta podrían soportar temperaturas menores algunos centígrados menos sin afectar el metabolismo según manual de tilapias del Sub-Proyecto “Programa de Transferencia de Tecnología en Acuicultura para Pescadores Artesanales y Comunidades Campesinas” del Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero – FONDEPES.

Por lo tanto, para la variación de temperatura, la máxima deseada es 30 °C. Como temperatura inicial se tomará la temperatura promedio de agua en Lima según “Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima y Callao Retos para el futuro” es de 19°C, expresión.

Se tomará en cuenta para el diseño, la cantidad de masa de agua del prototipo a desarrollar en un tanque de agua de las siguientes dimensiones:

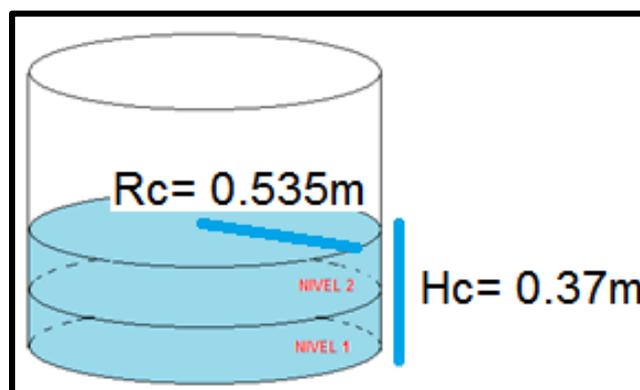


Figura 66: Medidas del diseño del prototipo

Elaboración: Los autores

El volumen del cilindro se expresa:

$$V_c = \pi \times R_c^2 \times H_c \quad (55)$$

Dónde:

V_c : Volumen del cilindro (L).

R_c : Radio del cilindro (m).

H_c : Altura del cilindro (m).

π : Valor que toma 3.1416.

$$V_c = 3.1416 \times (0.535m)^2 \times 0.37m \quad (56)$$

$$V_c = 0.332m^3 = 332 L \quad (57)$$

De acuerdo al cálculo del volumen del cilindro se diseñará una resistencia eléctrica que mantenga el agua a la temperatura máxima del hábitat los tilapias que es de 30°C, de acuerdo por calorimetría lo establecido en las bases teóricas:

$$E = M \times C_e \times (T_F - T_O) \quad (58)$$

Sabiendo que la Potencia eléctrica es la energía desarrollada o consumida en una unidad de tiempo, expresada en la fórmula:

$$P = \frac{E}{T} \quad (59)$$

Entonces reemplazamos (58) en (59):

$$P = \frac{M \times C_e \times \Delta T}{T} \quad (60)$$

Tenemos los siguientes valores para reemplazar en la ecuación (60):

ΔT : 30°C – 19°C = 11°C.

C_e : 4.186 J/gr C°

T : 18000 segundos (el tiempo deseado).

M : 332000 gr.

$$P = \frac{332000gr \times 4.186 \frac{J}{gr \text{ } ^\circ C} \times 11 \text{ } ^\circ C}{18000 \text{ segundos}} \quad (61)$$

$$P = 849.3 \text{ W} \quad (62)$$

Obtenida la potencia eléctrica se pasa a evaluar las resistencias eléctricas comerciales en el mercado, y se adquirió una resistencia eléctrica cercana a lo calculado, que dentro de lo comercial es de 900 W aproximadamente.

Una vez adquirida la resistencia eléctrica se midió la resistencia interna con el multímetro, Obteniendo una resistencia de 50.4 ohm.

$$R = 50.4\Omega$$

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{220^2}{50.4} \quad (63)$$

$$P = 930 \text{ W} \quad (64)$$

$$I = \frac{220V}{50.4\Omega} \quad (65)$$

$$I = 4.365 \text{ A} \quad (66)$$

4.4.4 Diseño de Driver para activación de Resistencia Eléctrica

Diseñar un circuito seguro que proteja el microcontrolador PIC ante una posible descarga de la corriente alterna y poder controlar la activación de la resistencia eléctrica.

La siguiente figura 67 , describe como se implementó el circuito controlador para activar la resistencia.

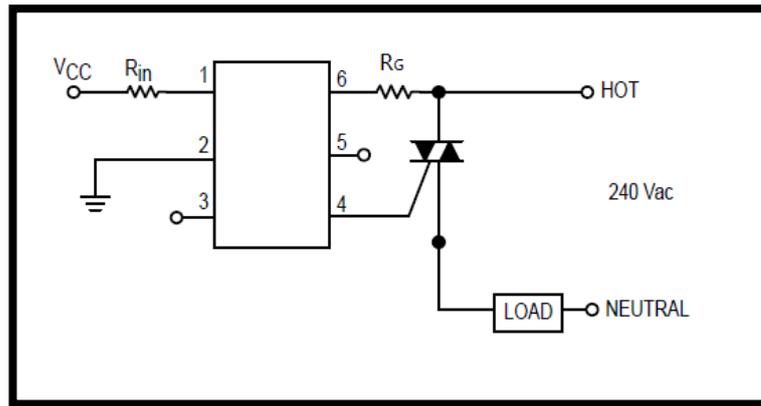


Figura 67: Circuito driver microcontrolador.

Elaboración: Los autores.

En cálculos anteriores se demostró que para cantidad de masa de agua del tanque, la potencia requerida de la resistencia es de 960 W, la cual opera con 220VAC, pero de la expresión (63) se deduce que la resistencia calefactora tiene como resistencia 50.4Ω , entonces.

Para la corriente, se calcula que es necesario un circuito que soporte corriente mayor a 5A.

Por lo tanto sería necesario implementar un triac que opere a una corriente mayor de 5A, se usará el BT137 que opera hasta 8A.

Para el cálculo R_G del triac, según hoja técnica se tiene:

IGT (Gate triggercurrent, corriente de la puerta de disparo) típica del triac es 30mA

V_T Voltaje del terminal típico 1.3V

VGT(Gate trigger voltage, Voltaje de la puerta de disparo) típica del triac es 0.7V

Conjuntamente con el optoacoplador MOC3041 muy comercial, según hoja técnica:

Soporta en estado apagado (Off-State) Voltaje Terminal de salida 400V

Voltaje (Forward Voltage): 1.3V

Disparador de la corriente LED, corriente requerida para el pestillo de salida MOC3042: 15mA

Luego:

Se analiza por separado

Etapa disparador de activación LED, en Figura (5.8.), se muestra la resistencia de entrada (R_{inO}) a calcular, Voltaje de entrada (V_{CC}), El voltaje de entrada se tomará como mínimo 3.3V y máximo 5V, salida del microcontrolador, para los cálculos se tomara el valor de 5V, sabiendo que voltaje de LED es 1.3V y corriente de activación 15mA

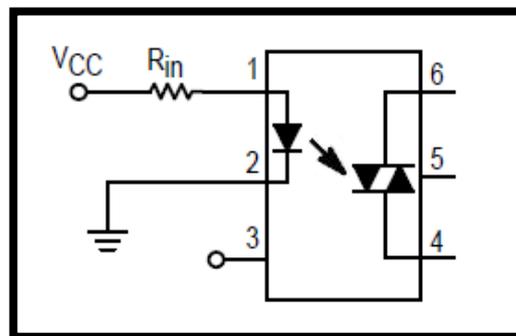


Figura 68. MOC3042

Fuente: Datasheet MOC3042

Por ley de Ohm se tiene:

$$R_{inO} = \frac{V_{CC} - V_{LED}}{I_{RinO}} \quad (67)$$

$$R_{inO} = \frac{5V - 1.3V}{15mA} = 246.667 \Omega \quad (68)$$

$$R_{inO} = 270 \Omega \quad (69)$$

Etapa acoplador de activación del triac, en Figura 69, se muestra la resistencia de entrada (R_G) a calcular, Voltaje del terminal típico 1.3V entre los terminales 1 y 2 , la corriente de la puerta de disparo típica es de 30mA, Voltaje del terminal típico 0.3V entre los terminales 6 y 4 del MOC304, voltaje de la puerta de disparo típica del triac 0.7V.

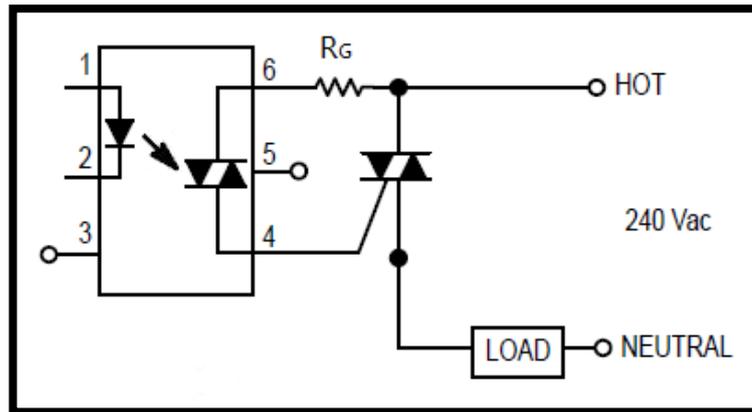


Figura 69. Triac TB137 y MOC3041

Fuente: Datasheet MOC3041

Por ley de Ohm se tiene:

$$R_G = \frac{V_T - V_{TMOC} - V_{GT}}{I_{GT}} \quad (31)$$

$$R_G = \frac{1.3V - 0.3V - 0.7V}{30mA} = 10\Omega \quad (32)$$

$$R_G \cong 100\Omega \quad (33)$$

4.5 Diseño

4.5.1 Diseño de Poza para la crianza de tilapias

Especificaciones de diseño:

- El tanque de agua Rotoplast de material PVC deberá ser resistente a altas temperaturas y contra golpes o fugas de agua.
- La estructura deberá tener una altura de 110cm y 107cm de diámetro.
- Se retiró la parte superior para poder ubicar en su interior diversos componentes.

Restricciones:

La estructura al ser de un tamaño considerable se tiene que guardar o almacenar en un lugar amplio para su desarrollo e implementación.

Limitaciones:

La estructura está diseñada para monitorear hasta 300L en su interior.

Diseño de la estructura:

De acuerdo con las referencias donde mencionan las dimensiones de las pozas en la actualidad, se consideró que se fabricaría un diseño a escala ya que actualmente las pozas logran alcanzar hasta 1000L en una poza o criadero.

Para el presente diseño del prototipo se empleó el software de diseño en 2D el AutoCAD 2018.

Se diseñó una estructura con la siguiente dimensión en la figura se observa las dimensiones que son 107cm de diámetro y de alto 110cm.

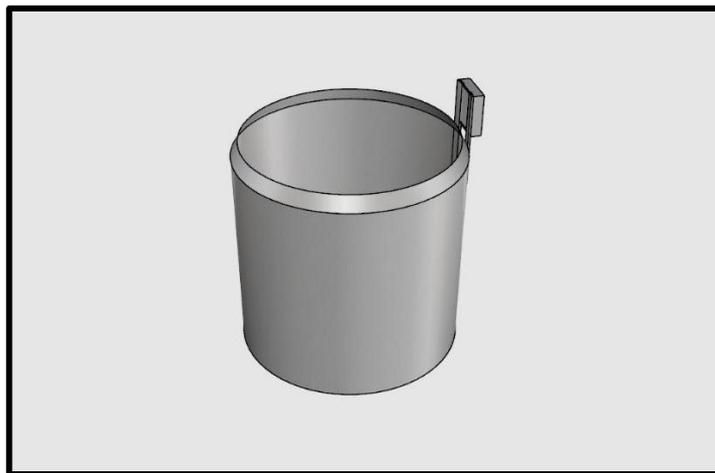


Figura 70. Diseño asistido por computadora CAD del prototipo utilizando autocad 3D

Elaboración: Los autores

Se presentó como actuador la resistencia eléctrica para el incremento de la temperatura en el agua, como se evidencia en la figura 71.



Figura 71. Presentación Inicial del proyectado sustentado

Elaboración: Los autores

De acuerdo con la observación realizada, referente a la utilización de la resistencia eléctrica para que haya un cambio de temperatura en el agua en un corto tiempo se propone usar una terma que introducirá agua caliente en mayor cantidad en un menor tiempo con relación a la resistencia eléctrica a continuación, se muestra la instalación de dicha terma.

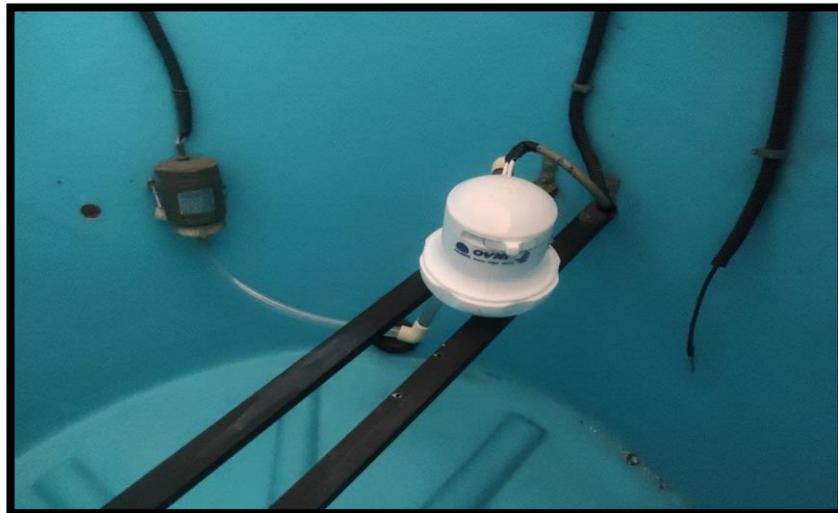


Figura 72. Terma eléctrica instalada

Elaboración: Los autores

4.5.2 Diseño del módulo de control y placa electrónica.

Especificaciones de diseño:

El material del módulo de control deberá ser ABS (El ABS es un material perfecto para aplicaciones industriales además que una de sus características en la cual permite: mecanizar, pulir, lijar, limar, agujerear, pintar, pegar etc. con extrema facilidad, y en el posee un buen acabado sigue siendo bueno. Además, es extremadamente resistente y es poco flexible.)

El material empleado en el diseño del módulo de control deberá de ser carácter orgánico. Eso quiere decir que es más ecológico que los demás materiales empleados para la impresión en 3D.

El módulo deberá ser diseñado para implementar tanto la placa electrónica como la fuente de poder, pantalla táctil y los principales sensores.

Restricciones:

Las dimensiones no deberán ser muy amplias, debido a que el módulo se colocará muy cerca al prototipo y estar fijado en un extremo del tanque.

Se deberá revisar que dentro del módulo no se llegue a filtrar algún líquido, ya que ocasionaría una falla en el sistema.

Limitaciones:

La circuitería deberá estar contenida dentro del módulo de control (Fuente de poder, Circuitos actuadores, Circuitos de acondicionamiento de señal para diferentes sensores, Microprocesador con pantalla táctil y pilotos led.)

Diseño del módulo:

Para el lado lateral del prototipo se implementó una caja, donde se ubican los circuitos de acondicionamiento de la señal de los sensores, actuadores y la pantalla táctil por donde se podrá monitorear los diferentes parámetros.

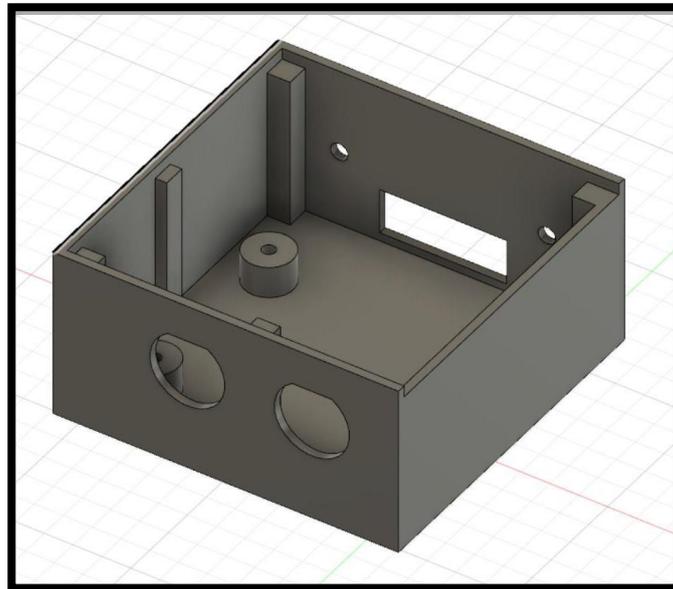
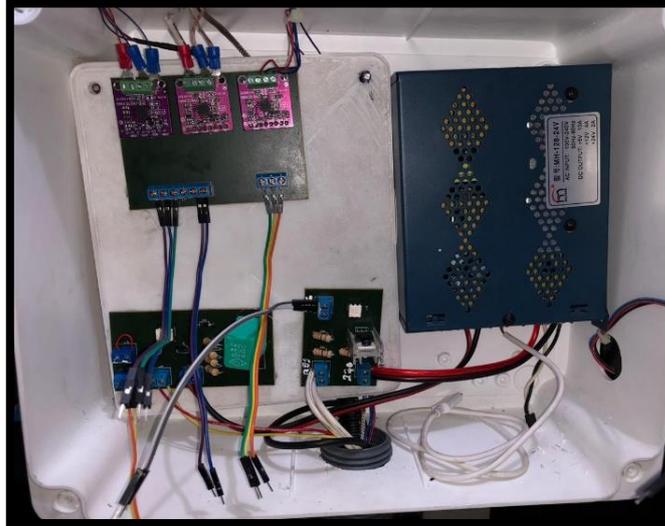


Figura 73. Diseño asistido por computadora CAD del Módulo de Control (En AutoCAD 3D e imagen del módulo)

Elaboración: Los autores

4.5.3 Diseño Placa PCB

Especificaciones de diseño:

Las placas no deberán exceder el tamaño de 20cm x 22 cm para que pueda colocarse dentro del módulo.

La placa deberá ser diseñada a capa simple con material de bakelita para aumentar su tiempo de vida y evitar errores de conexiones.

Restricciones:

La conexión de los sensores de temperatura solo se podrá realizar mediante las borneras las cuales están conectadas a los Max31865 a un máximo de 3.3Vdc.

La conexión de los sensores de pH y OD solo se podrán comunicar mediante conectores BNC.

Limitaciones:

La placa solo podrá ser utilizada para monitorear y controlar los parámetros de temperatura, pH y oxígeno disuelto dentro del prototipo.

Con esta placa solo se podrá conectar:

3 sensores de temperatura PT100.

1 sensor de pH Atlas Scientific.

1 sensor de Oxígeno Disuelto Atlas Scientific.

Salida para dos actuadores (bomba de agua y resistencia eléctrica).

En la figura 74 se aprecia diferentes placas, las cuales se ubicarán dentro del módulo de control. Se utilizaron borneras para una mejor conexión entre los sensores y actuadores necesarios para el sistema. Se utilizó disipadores en algunos circuitos integrados para reducir el calentamiento dentro del módulo.

Entre los principales circuitos diseñados son:

Circuito activador de resistencia:



Figura 74. Circuito activador de resistencia eléctrica

Elaboración: Los autores



Figura 75. Módulos acondicionamiento de señal para Pt100

Elaboración: Los autores



Figura 76. Circuito activador de bomba de agua

Elaboración: Los autores

4.5.4 Interfaz gráfica Raspberry pi

Especificaciones de diseño:

Se debe diseñar una interfaz gráfica amigable y visualmente ordenada para el correcto monitoreo y control de los parámetros.

La resolución de la interfaz debe ser la misma que la pantalla táctil de 7 pulgadas, esto quiere decir, 1024 x 600px. Esto se hace para aprovechar al máximo todo el espacio de la pantalla, ya sea con muestra de datos o botones activadores.

Se deberá agregar dos botones por cada actuador, en este caso la bomba de agua y la resistencia eléctrica; y a su vez agregar un tipo de piloto en la interfaz para corroborar que ha sido encendido cualquier actuador.

Restricciones:

Debido a la alta carga computacional que llega a utilizar el microprocesador al recibir información de diferentes sensores, se configuró para que la interfaz muestre los parámetros cada 7 segundos.

La interfaz solo muestra información de los sensores de temperatura, pH y oxígeno disuelto.

Limitaciones:

La interfaz gráfica al manejar diferentes parámetros llega a sobrecargarse y con ello genera una pequeña demora al actualizar los parámetros mostrados.

Interfaz gráfica:

Para diseñar la interfaz gráfica se utilizó el lenguaje python y entre muchas librerías se eligió Tkinter, la cual es una de las bibliotecas gráficas mayor utilizada en lenguaje python.

En el proceso de diseño, se tomó la decisión de mostrar todas la variables en una misma ventana, como también los botones, pilotos y un botón donde muestre las gráficas almacenadas en la base de datos.

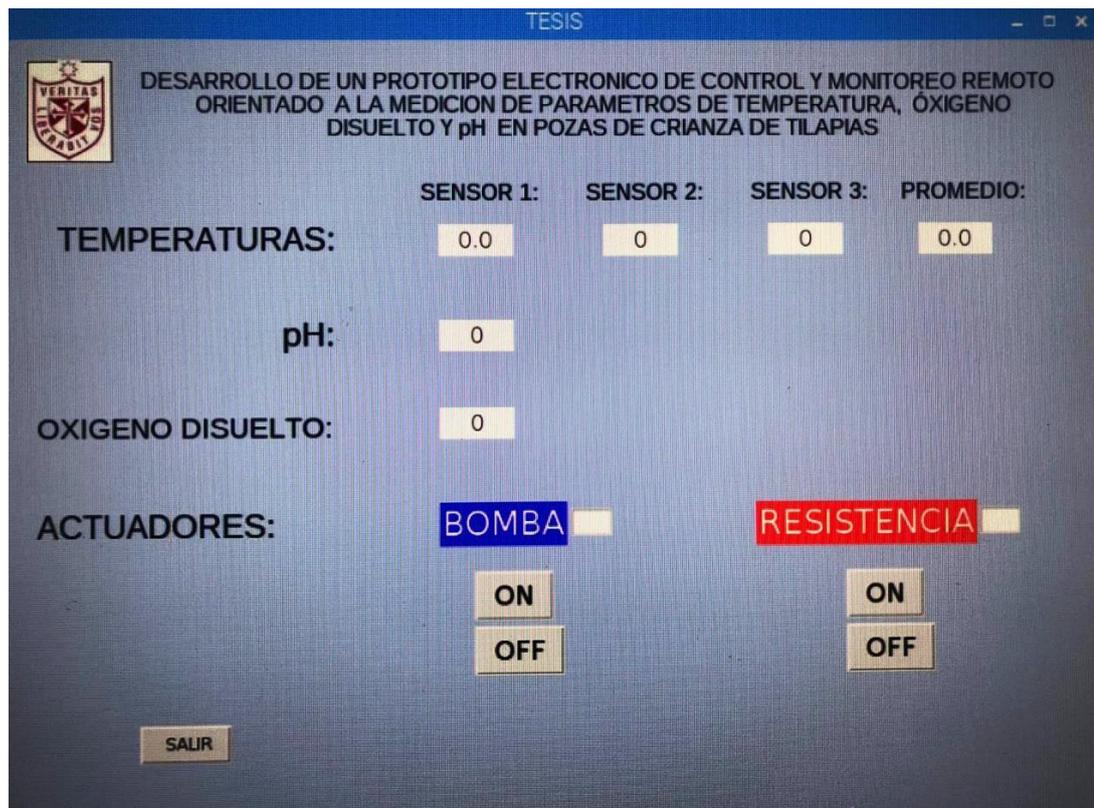


Figura 77: Interfaz gráfica final

Elaboración: Los autores

4.6 Programación del proyecto

4.6.1 Programación de base de datos

Para la programación de la base de datos se eligió el lenguaje SQL, el cual se utiliza en sistema de base de datos MySQL. Adicionalmente se decidió utilizar la herramienta web PHPMyAdmin con el cual se puede crear, eliminar y modificar tablas muy fácilmente, administrar privilegios, exportar datos en varios formatos.

Tabla 14: Variables de la base de datos.

TESIS
ID
Fecha
Temperatura 1
Temperatura 2

Temperatura 3
Temperatura f
pH
OD

Elaboración: Los autores.

En la tabla 14, se muestran las variables del proyecto desarrollado, a continuación, se identifica cada variable:

ID: Identificador único.

Fecha: Fecha de la toma de muestras.

Temperatura 1: Temperatura del primer sensor.

Temperatura 2: Temperatura del segundo sensor.

Temperatura 3: Temperatura del tercer sensor.

Temperatura f: Temperatura promedio entre los tres sensores de temperatura.

pH: Valor de pH en el tanque de agua.

OD: Valor de Oxígeno Disuelto en el tanque de agua.

	id	fecha	Temperatura1	Temperatura2	Temperatura3	Temperaturaf	PH	OD
Editar Copiar Borrar	4952	2019-06-22 09:54:42	17.6096	17.5	17.5	17.5365	6.259	1.4
Editar Copiar Borrar	4951	2019-06-22 09:54:35	17.6096	17.312	17.625	17.5155	6.202	0
Editar Copiar Borrar	4950	2019-06-22 09:54:29	17.6096	17.375	17.437	17.4739	6.203	0.41
Editar Copiar Borrar	4949	2019-06-22 09:54:22	17.6096	17.375	17.437	17.4739	6.199	0
Editar Copiar Borrar	4948	2019-06-22 09:54:12	17.6096	17.5	17.375	17.4949	6.182	41
Editar Copiar Borrar	4947	2019-06-22 09:54:04	17.6096	17.437	17.562	17.5362	6.15	0
Editar Copiar Borrar	4946	2019-06-22 09:53:57	17.6096	17.375	17.562	17.5155	6.152	1
Editar Copiar Borrar	4945	2019-06-22 09:53:49	17.6096	17.437	17.562	17.5362	6.142	41
Editar Copiar Borrar	4944	2019-06-22 09:53:43	17.6096	17.5	17.437	17.5155	6.198	0
Editar Copiar Borrar	4943	2019-06-22 09:53:36	17.6096	17.5	17.437	17.5155	6.06	1.4
Editar Copiar Borrar	4942	2019-06-22 09:53:29	17.6096	17.5	17.562	17.5572	6.028	0
Editar Copiar Borrar	4941	2019-06-22 09:53:23	17.6096	17.5	17.562	17.5572	6.009	0.41
Editar Copiar Borrar	4940	2019-06-22 09:53:17	17.6096	17.5	17.437	17.5155	5.993	0

Figura 78. Tablas de la base de datos en PHPMyAdmin

Elaboración: Los autores

En la figura 78, se muestra la interfaz del aplicativo web PHPMyAdmin en donde se logra registrar correctamente toda la información a la base de datos del proyecto.

4.6.2 Programa general del proyecto

Programación general del proyecto de desarrollo de un prototipo electrónico de control y monitoreo remoto orientado a la medición de parámetros de temperatura, oxígeno disuelto y pH en pozas de crianza de tilapias.

```
##### LIBRERIAS #####
import RPi.GPIO as GPIO
import tkinter as tk
from tkinter import PhotoImage
from tkinter import ttk
from tkinter import *
import board
import busio
import digitalio
import adafruit_max31865
import time
import sys
import os
import MySQLdb
import serial
import webbrowser
from urllib.request import urlopen
from ph_test import atlas_i2c
from threading import Thread
from w1thermsensor import W1ThermSensor
from random import uniform

GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(20,GPIO.OUT) ##activar resistencia
GPIO.setup(21,GPIO.OUT) ##activar bomba

atmega= serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)
time.sleep(2)
myAPI='E6NGX31115JYG8BV'
baseUrl='https://api.thingspeak.com/update?api_key=%s' % myAPI

##### PROTOCOLO SPI #####
spi = busio.SPI(board.SCK, MOSI=board.MOSI, MISO=board.MISO)
cs = digitalio.DigitalInOut(board.D5) # Chip select of the MAX31865
board.
```

```

##### ADQUISICION DE DATOS DE PARAMETROS #####
sensor1= adafruit_max31865.MAX31865(spi, cs, rtd_nominal=100.3,
ref_resistor=430.0, wires=3)
sensor3 =
W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "02159245d046")
sensor2 =
W1ThermSensor(W1ThermSensor.THERM_SENSOR_DS18B20, "02159245c400")
sensor4 = atlas_i2c()
data = []

#class Database:
    #def __init__(self):
def query(data):
    print(data)
    try:
        db = MySQLdb.connect(host="localhost",
            user="root",
            passwd="1",
            db="tesis")
        print("OK")
        cursor=db.cursor()
        cursor.execute("INSERT INTO sensores2(Temperatura1,
Temperatura2, Temperatura3, Temperaturaf, PH, OD)
VALUES(%s,%s,%s,%s,%s,%s)",data)
        db.commit()
        print("record inserted")
        cursor.close()
        db.close()
        print("connection close")
        del db
    except:
        print("fail")
temp = 0; temp2 = 0; temp3 = 0; ph=0

def sensor_tem():
    temp= sensor1.temperature ##Pt100 Max
    temp2= sensor2.get_temperature() + 1.3##Ds18b20
    temp3= sensor3.get_temperature() + 1.3##Ds18b20
    temp = (temp+temp2+temp3)/3
    phClass = sensor4.query("R") #consulta pH
    ph = phClass[:5] ## pH
    do=atmega.readline()
    data = [float(temp),float(temp2),float(temp3),temp, float(ph),do]
    query(data)
    if (temp < 16) or (temp2 < 16) or (temp3 < 16):
        GPIO.output(20,True)
        time.sleep(3)
        GPIO.setwarnings(False)
    else:

```

```

        GPIO.output(20,False)
        time.sleep(3)
        GPIO.setwarnings(False)

    conn=
    urlopen(baseURL+'&field1=%s&field2=%s&field3=%s&field4=%s&field5=%s&field6=%s' %(temp,temp2,temp3,temp4,ph,do))
    conn.close()

##### ACTIVACION DE ACTUADORES #####
    readingt.set(round(temp,3))
    readingt2.set(round(temp2,3))
    readingt3.set(round(temp3,3))
    readingp.set(round(temp4,3))
    readingt4.set(ph)
    readingt5.set(do)

    label.after(2000, sensor_tem)

def graf_temp():
    webbrowser.open('https://thingspeak.com/apps/plugins/295567',
new=0, autoraise=True)

def close():
    ventana.destroy()

def bomba():
    GPIO.output(21,True)
    GPIO.setwarnings(False)
    print("bomba on")
    labelb = tk.Entry(ventana, textvariable = "bomba" , width=3,
bg="blue" )
    labelb.place(x= 410, y = 280)
def bomba_off():
    GPIO.output(21,False)
    GPIO.setwarnings(False)
    labelb = tk.Entry(ventana, textvariable = "bomba" , width=3)
    labelb.place(x= 410, y = 280)
    print("bomba off")
def resistencia():
    GPIO.output(20,True)
    GPIO.setwarnings(False)
    print("calentando")
    labelr = tk.Entry(ventana, textvariable = "RESISTENCIA" ,
width=3, bg="red" )
    labelr.place(x= 708, y = 280)
def resistencia_off():
    GPIO.output(20,False)
    GPIO.setwarnings(False)

```

```

        labelr = tk.Entry(ventana, textvariable = "RESISTENCIA" , width=3
)
        labelr.place(x= 708, y = 280)
#####

ventana = tk.Tk()
ventana.title("TESIS")
ventana.geometry("800x500+0+0")
ventana.configure(background='lightsteelblue')

#####INTERFAZ DE USUARIO#####
tit_titulo = tk.Label(ventana, text = "DESARROLLO DE UN PROTOTIPO
ELECTRONICO DE CONTROL Y MONITOREO REMOTO \n ORIENTADO A LA MEDICION
DE PARAMETROS DE TEMPERATURA, ÓXIGENO\n DISUELTO Y pH EN POZAS DE
CRIANZA DE TILAPIAS ", bg="lightsteelblue", font=("Helvetica 12 bold"))
tit_titulo.place(x = 100, y = 20)
tit_temp = tk.Label(ventana, text = "TEMPERATURAS:",
bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 18))
tit_temp.place(x=40, y= 130)
tit_sensor1= tk.Label(ventana, text = "SENSOR
1:",bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 13))
tit_sensor1.place(x= 300, y=100)
tit_sensor2= tk.Label(ventana, text = "SENSOR
2:",bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 13))
tit_sensor2.place(x= 420, y=100)
tit_sensor3= tk.Label(ventana, text = "SENSOR
3:",bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 13))
tit_sensor3.place(x= 540, y=100)
tit_prom= tk.Label(ventana, text =
"PROMEDIO:",bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 13))
tit_prom.place(x= 650, y=100)
tit_ph = tk.Label(ventana, text = "pH:",
bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 18))
tit_ph.place(x=200, y= 170)
tit_do = tk.Label(ventana, text = "OXIGENO DISUELTO:",
bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 16))
tit_do.place(x=25, y= 210)
tit_act = tk.Label(ventana, text = "ACTUADORES:",
bg='lightsteelblue',font=("Helvetica", 18))
tit_act.place(x=60, y= 260)
tit_res = tk.Label(ventana, text = "RESISTENCIA", bg="RED", fg="white",
font=("Helvetica",18))
tit_res.place(x = 545, y = 290)
tit_res = tk.Label(ventana, text = "BOMBA", bg="BLUE", fg="white",
font=("Helvetica",18))
tit_res.place(x = 315, y = 290)

#####LABEL VARIABLES#####
readingt = tk.StringVar()

```

```

readingt2 = tk.StringVar()
readingt3 = tk.StringVar()
readingp=tk.StringVar()

readingt4 = tk.StringVar()
readingt5 = tk.StringVar()

labelb = tk.Entry(ventana , width=3 )
labelb.place(x= 410, y = 280)
labelr = tk.Entry(ventana , width=3 )
labelr.place(x= 708, y = 280)

label = tk.Label(ventana, textvariable = readingt, width=5, bg='white',
font=13 )
label.place(x= 315, y = 135)
label2 = tk.Label(ventana, textvariable = readingt2, width=5,
bg='white', font=13 )
label2.place(x= 435, y = 135)
label3 = tk.Label(ventana, textvariable = readingt3, width=5,
bg='white', font=13 )
label3.place(x= 555, y = 135)
labelp= tk.Label(ventana, textvariable = readingp, width=5, bg='white',
font=20)
labelp.place(x= 665, y = 135)
#####pH
label4 = tk.Label(ventana, textvariable = readingt4 , width=5 ,
bg='white', font=20 )
label4.place(x= 315, y = 175)
#####OD
label5 = tk.Label(ventana, textvariable = readingt5 , width=5 ,
bg='white', font=20 )
label5.place(x= 315, y = 215)
#####BOTONES#####
btn_salir = tk.Button(ventana, text = " SALIR", command = close)
btn_salir.place(x = 100, y = 460)

btn_bomba= tk.Button(ventana, text = "ON",font=("Helvetica",14),
command = bomba)
btn_bomba.place(x = 290, y = 330)
btn_bombaoff= tk.Button(ventana, text = "OFF", font=("Helvetica",14),
command = bomba_off)
btn_bombaoff.place(x = 360, y = 330)
btn_res= tk.Button(ventana, text = "ON",font=("Helvetica",14), command
= resistencia)
btn_res.place(x = 550, y = 330)
btn_resoff= tk.Button(ventana, text = "OFF",font=("Helvetica",14),
command = resistencia_off)
btn_resoff.place(x = 630, y = 330)
btn_graf= tk.Button(ventana, text="Grafica", command= graf_temp)

```

```
btn_graf.place(x=50, y=340)

#####LOGO#####
imagen1=tk.PhotoImage (file="/home/pi/Desktop/3")
label1 = tk.Label(ventana, image=imagen1)
label1.place(x = 20, y=15)
label.after(1000, sensor_tem)

ventana.mainloop()
```


En la figura 79, se muestra el diseño del circuito electrónico del proyecto desarrollado, en dicha imagen se separó por bloques identificados con letras, a continuación, se identifica los bloques según la letra asignada:

A: Esquema del circuito Fuente de alimentación para el microcontrolador, los circuitos acondicionadores y los circuitos actuadores.

B: Son los módulos transmisores MAX31865, que nos permitirán obtener los valores de temperatura de los sensores RTD PT100.

C: Esquema del circuito acondicionador del Oxígeno Disuelto.

D: Esquema del circuito acondicionador del pH.

E: Esquema de los circuitos actuadores (terma y bomba de agua).

CAPÍTULO V

PRUEBAS

5.1 Pruebas y validación del sensor de temperatura

Para llevar a cabo el proceso de validación, se debe utilizar botellas de agua helada, las cuales se vierten en el prototipo para alcanzar temperaturas bajas y posteriormente se agregó agua a temperatura ambiente hasta culminar el número de pruebas. Los rangos de la toma de pruebas fueron entre los 10°C y 30 °C debido a que es la temperatura en la cual las tilapias pueden desarrollarse sin ningún problema. En el prototipo se colocaron 3 sensores de temperatura para cubrir la masa de agua de 300 litros aproximadamente.

Al comparar los sensores de temperaturas contra el termómetro digital de marca Taylor se determinó que el porcentaje de error está dentro de los parámetros establecidos como se muestra en la tabla 15.



Figura 80. Termómetro digital Taylor

Fuente: <https://www.taylormexico.com/termometros-digitales>

Tabla 15: Mediciones de temperatura.

Toma	Temp.Prom.Sensores	Termometro Dig.	Diferencia	Error
1	12,4	12,9	0,5	3,8760
2	13,2	13,5	0,3	2,2222
3	15	14,9	-0,1	-0,6711
4	16,4	16,1	-0,3	-1,8634
5	18,19	18,1	-0,09	-0,4972
6	18,25	18,3	0,05	0,2732
7	18,31	18,4	0,09	0,4891
8	18,62	18,6	-0,02	-0,1075
9	22,5	22,6	0,1	0,4425
10	22,62	22,9	0,28	1,2227
11	28	28,1	0,1	0,3559
12	28,69	28,7	0,01	0,0348
13	29,8	29,7	-0,1	-0,3367
14	30,62	30,9	0,28	0,9061

Elaboración: Los autores.

Para el cálculo del coeficiente de correlación de Pearson se aplicó la siguiente fórmula.

$$\rho_{x,y} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Donde:

- σ_{xy} es la covarianza de (X,Y).
- σ_x es la desviación estándar de la variable X.
- σ_y es la desviación estándar de la variable Y.

En la siguiente tabla se realiza los cálculos para obtener el coeficiente de Pearson.

Tabla 16: Variables para hallar el coeficiente Pearson.

Valores tomados	14
Media_sensor	20.9
Varianza_sensor	38,70
Desviación_sensor	6,22
Media_termómetro	20.97
Varianza_termómetro	38,52
Desviación_termómetro	6,20
Covarianza	35,83
Coficiente de Pearson	0.999445325

Elaboración: Los autores.

5.2 Validación de pH

Para llevar a cabo la validación del sensor de pH, se utilizaron buffers de diferentes niveles. Para ello se utilizó los buffers de los siguientes niveles de pH: 4 , 7 y 10 (Ver figura 65).



Figura 81: Buffers de diferentes niveles de pH.

Elaboración: Los autores.

En las siguientes tablas se tomaron 5 muestras de cada buffer para la validación del sensor de pH en intervalo de cada media hora.

Tabla 17: Mediciones de pH del buffer **pH=7**.

Número de Días/Número de mediciones	1	2	3	4	5
1	6.82	6.91	7.02	7.10	7.05
2	7.11	6.96	7.10	7.06	7.18
Media	6.965	6.935	7.06	7.03	7.115
Varianza	0.01442	0.00182	0.0022	0.0024	0.0072
Desviación	0.12010	0.04272	0.0476	0.0489	0.085

Elaboración: Los autores.

Tabla 18. Mediciones de pH del buffer **pH=4**.

Número de Días/Número de mediciones	1	2	3	4	5
1	4.15	3.94	3.84	4.25	4.36
2	3.89	4.16	4.28	4.04	3.91
Media	4.02	4.05	4.06	4.15	4.14
Varianza	0.03	0.02	0.10	0.02	0.10
Desviación	0.18	0.16	0.31	0.15	0.32

Elaboración: Los autores.

Tabla 19: Mediciones de pH del buffer **pH=10**.

Número de Días/Número de mediciones	1	2	3	4	5
1	10.06	9.89	10.08	9.92	10.21
2	9.83	10.25	10.31	10.29	10.05
Media	9.95	10.07	10.20	10.11	10.13
Varianza	0.03	0.06	0.03	0.07	0.01
Desviación	0.16	0.25	0.16	0.26	0.11

Elaboración: Los autores.

5.3 Costos e inversión total de la investigación

NOMBRE	DESCRIPCIÓN	USO	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	PROVEEDOR (local/externo)
Pantalla	Pantalla táctil	Mostrará los parámetros	1	250 soles	250 soles	LOCAL
Raspberry pi	Microprocesador	Microprocesador de señales	1	190 soles	190 soles	LOCAL
Pt100	Sensor temperatura	Sensado de temperatura	3	45 soles	135 soles	LOCAL
DS18B20	Sensor temperatura digital	Sensado de temperatura	3	12 soles	36 soles	LOCAL
LM358	Opamp	Usado en el filtro pasa bajas y amplificación del sensor LM35	2	0.5 soles	1 soles	LOCAL
Caja de plástico	Módulo	Almacenamiento de componentes	1	40 soles	40 soles	LOCAL
4N35	Optoacoplador	Permite aislar el microcontrolador	2	1.5 soles	3 soles	LOCAL
MOC3041	Opto transistor	Permite el flujo de corriente alterna	2	2.5 soles	5 soles	LOCAL
Sensor pH	Sensor pH	Usado adquirir la señal del electrodo de pH	1	262 dólares	865 soles	EXTERNO
LM324	Opamp	Usado para el acondicionamiento de la señal del	1	2.5 soles	2.5 soles	LOCAL

		electrodo de oxígeno disuelto				
Termómetro digital	Termómetro	Medir nivel de temperatura	1	85 soles	85 soles	LOCAL
Sensor de OD	Sensor Oxígeno disuelto	Adquiere la señal del oxígeno disuelto	1	363 dólares	1200 soles	EXTERNO
MAX31865	Driver para pt100	Convertor RTD a digital	4	40 soles	160 soles	LOCAL
Componentes electrónicos	Componentes electrónicos	Componentes varios como resistencias, capacitores cerámicos, capacitores electrolíticos y potenciómetros	1	60 soles	60 soles	LOCAL
Fuente de alimentación	Fuente de alimentación	Alimentar todo el diseño	1	80 soles	80 soles	LOCAL
Resistencia Eléctrica	Resistencia	Aumento de temperatura en pozas	1	100 soles	100 soles	LOCAL
Bomba de agua	Bomba de agua	Aumento del nivel de Oxígeno Disuelto	1	40 soles	40 soles	LOCAL
Tanque de agua	Tanque de agua	Prototipo de poza	1	300 soles	300 soles	LOCAL
Manguera	Manguera Corrugada	Protección de los cables de los sensores y electrodos	10 metros	1 sol	10 soles	LOCAL
Tornillos y tuercas	Tornillos y tuercas	Asegurar el módulo y los circuitos	2 docenas	3 soles	6 soles	LOCAL
Seguro para manguera	Seguro para manguera	Fijar la manguera	2 docenas	2 sol	4 soles	LOCAL
Placas impresas	Placas impresas	Circuitos hechos en baquelita	6	40 soles	240 soles	LOCAL
				TOTAL:	S/. 3812,5	

CONCLUSIONES

- 1.** Se diseñó un prototipo de poza a escala real para obtener los parámetros importantes para la calidad de agua y crianza de tilapias.
- 2.** Se logró mantener los parámetros en los rangos establecidos y a su vez monitorearlos.
- 3.** El lenguaje de programación Python flexibiliza interactuar con MySQL y nos proporciona gran multitud de librerías.
- 4.** Se eligieron los sensores, microcontrolador y componentes electrónicos para un mejor sistema integrado.
- 5.** Se desarrolló un software para la base de datos apropiada y una interfaz gráfica amigable para el usuario.

RECOMENDACIONES

- 1.** Para el diseño propuesto, se recomienda la implementación en cualquier localidad donde exista conectividad Ethernet.
- 2.** Es conveniente que el diseño cuente con un suministro de energía eléctrica mínima de cuatro (4) amperios.
- 3.** Si el diseño propuesto es desarrollado en más de una poza, se recomienda una interconexión entre pozas para la circulación del agua.
- 4.** Es pertinente que los sensores de pH y oxígeno disuelto eviten estar cerca de campos electromagnéticos.
- 5.** Se recomienda que cada tres meses se realice un mantenimiento general al sistema eléctrico y los sensores.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

D. M. Africa, J. C. C. A. Aguilar, C. M. S. Lim, P. A. A. Pacheco and S. E. C. Rodrin (2017). *Automated aquaculture system that regulates Ph, temperature and ammonia*. IEEE 9th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), pp. 1-6, doi: 10.1109/HNICEM.2017.8269494.

Caicedo, H. & Obando, D. (2011). *Diseño e implementación de un sistema automatizado para el control del acuario del Museo de Ciencias Biológicas de la Escuela Politécnica Nacional*. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.

Chang & Zhang (2013). *Aquaculture monitoring system based on fuzzy-PID algorithm and intelligent sensor networks*. Huaiyin Institute of Technology, China.

Ciganda, L. (2004). XII seminario de ingeniería biomédica. Conferencia "Biosensores para determinaciones analíticas".

Dulanto, L. (2011). *Diseño de un sistema de monitoreo remoto de parámetros ambientales críticos de la planta piloto de acuicultura de la PUCP*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/538>

Gonzales, P. (2015). *Núcleo de instrumentación y Control*. Universidad Nacional Experimental del Táchira.

Martínez, D. (2018). *Diseño e integración de los algoritmos de control para un equipo de medición de parámetros físico químicos en agua de quebradas*. Instituto Tecnológico Metropolitano.

Pinedo Rios, Romel & Roman Claros, Walter Gilberto & Romayna, Eric. (2017). *Sistema automatizado para el control y monitoreo del comportamiento de alevinos de paiche en cautiverio*. Repositorio de revistas de la Universidad Privada de Pucallpa.

T. Photsathian, T. Suttikul & W. Tangsrirat (2018). *Design and improvement of wireless crayfish breeding system by controlling water temperature and monitoring pH via cloud system services*. 3rd International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE), pp. 205-208, doi: 10.1109/ICCRE.2018.8376465.

Tobajas, A. (2016). *Diseño e implementación de una estación meteorológica con Raspberry Pi*. Universidad Oberta de Catalunya.

Electrónicas:

Álzate, E., & Montes, J., & Escobar, R. (2012). *Acondicionamiento del sensor de pH y temperatura para realizar titulaciones potenciométricas*. *Scientia Et Technica*, 2(51), 188–196. Recuperado de <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/1603/4681>.

Baltazar, P., & Palomino, A. (2004). *Manual de cultivo de Tilapia (1.a ed.)*. Fondo Nacional de Desarrollo Pesquero (FONDEPES). Recuperado de http://www2.produce.gob.pe/RepositorioAPS/3/jer/ACUISUBMENU4/manual_tilapia.pdf.

Baltazar, P., Mendoza, D., & Castañeda, M. (2018). *Tilapia Potential in Peru*. *World Aquaculture*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/328887766_Tilapia_Potential_in_Peru

Cobos, D., & Torres, K. (2020). *Laboratorio de Transferencia de calor*. Universidad Autónoma de Nuevo Leon. Recuperado de <https://www.coursehero.com/file/137888999/Lab-TransCalor-Practica-2pdf/>

Drake Moyano, J. M. (2005). Instrumentación electrónica de comunicaciones. Universidad de Cantabria. Recuperado de https://www.istr.unican.es/asignaturas/instrumentacion_5_IT/IEC_6.pdf

Flores, S., & Aracena, D. (2018). *Sistema de monitoreo remoto de acuicultura en estanques para la crianza de camarones*. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 26(Supl. 1), 55-64. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052018000500055>

HACH (2016). Sensor de oxígeno disuelto galvánico de membrana 5740 sc. Recuperado de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2018-03-06_11-01-49143790.pdf

Lapiente, V.(2015). *Control y monitorización de un acuario en tiempo real mediante tecnología open source*. Universidad de Zaragoza. Recuperado de <https://zaguan.unizar.es/record/37185/files/TAZ-PFC-2015-154.pdf>

López González, F. J. (2005). *Desarrollo de sensores ópticos para gases y diseño de instrumentación portátil*. Universidad de Granada. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10481/591>

Maxim Integrated. (s.f.). *Datasheet de DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Recuperado de <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Mouser (2013). *Datasheet de BT138*. Recuperado de <http://www.mouser.com/ds/2/302/BT138-600E-211638.pdf>

Perez Porto, J., & Gardey, A. (2014). *Definición de red LAN*. Obtenido de <https://definicion.de/red-lan/>

Protocolo I2C (s.f.). Recuperado de <https://teslabem.com/learn/fundamentos-del-protocolo-i2c-aprende/>

Rivera, Diana & Yopez, Eddy (2015). *Diseño e implementación de un prototipo para la medición de calidad del agua y control de la oxigenación en forma remota orientado a la producción acuícola* (Tesis de grado). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil. Recuperado de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10328>

Universidad Nacional de Quilmes (2011). *Medida de parámetros físicos y químicos en cultivos microbianos*. Universidad Nacional de Quilmes.
Recuperado de <http://bioprocesos.unq.edu.ar/Biopro%20/Guia%20complementaria%202010.pdf>

ANEXOS

[1] Datasheet MOC3041

MOTOROLA SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

Order this document
by MOC3041/D



6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (400 Volts Peak)

The MOC3041, MOC3042 and MOC3043 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to a monolithic silicon detector performing the function of a Zero Voltage Crossing bilateral triac driver.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 115 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 2000 V/ μ s Typical, 1000 V/ μ s Guaranteed
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

MAXIMUM RATINGS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INFRARED EMITTING DIODE

Reverse Voltage	V_R	6	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	V_{ORM}	400	Volts
Peak Repetitive Surge Current ($PW = 100 \mu\text{s}$, 120 pps)	I_{TSM}	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250 2.94	mW mW/ $^\circ\text{C}$
Junction Temperature Range	T_J	-40 to +100	$^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-40 to +85	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 s)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage, V_{ISO} , is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions. Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value. GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3040/D)

MOC3041
[IFT = 15 mA Max]
MOC3042
[IFT = 10 mA Max]
MOC3043*
[IFT = 5 mA Max]

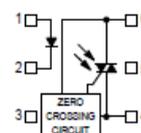
*Motorola Preferred Device

STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
2. CATHODE
3. NC
4. MAIN TERMINAL
5. SUBSTRATE
DO NOT CONNECT
6. MAIN TERMINAL

[2] Datasheet ds18b20.

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

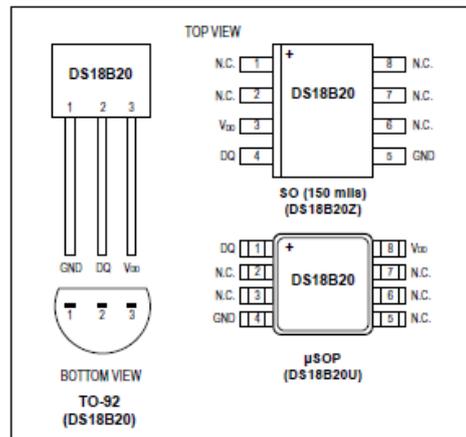
Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

Benefits and Features

- Unique 1-Wire[®] Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



[Ordering Information](#) appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

19-7487; Rev 0; 7/19



Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground.....-0.5V to +6.0V
 Operating Temperature Range.....-55°C to +125°C
 Storage Temperature Range.....-55°C to +125°C
 Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; V_{DD} = 3.0V to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{I/O} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in [Figure 1](#). Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{LMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DD} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

MAX31865

RTD-to-Digital Converter

General Description

The MAX31865 is an easy-to-use resistance-to-digital converter optimized for platinum resistance temperature detectors (RTDs). An external resistor sets the sensitivity for the RTD being used and a precision delta-sigma ADC converts the ratio of the RTD resistance to the reference resistance into digital form. The MAX31865's inputs are protected against overvoltage faults as large as $\pm 45V$. Programmable detection of RTD and cable open and short conditions is included.

Applications

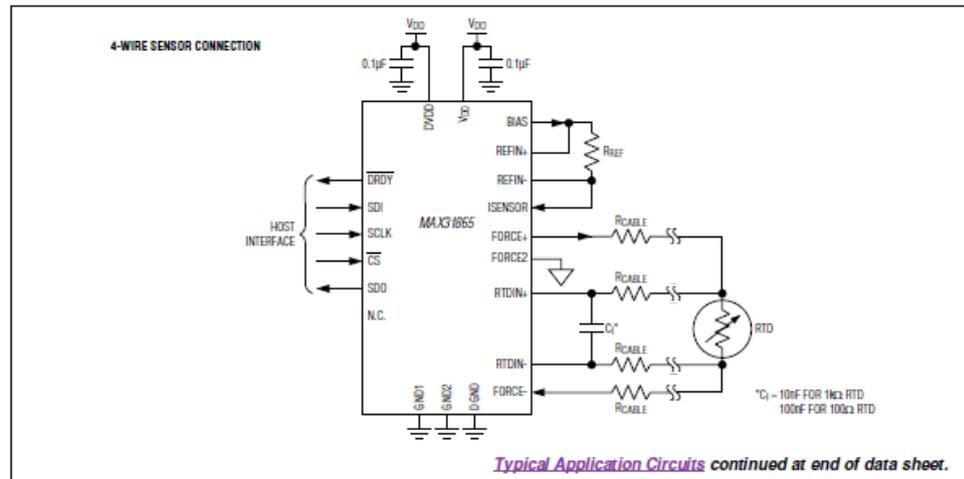
- Industrial Equipment
- Medical Equipment
- Instrumentation

Benefits and Features

- Integration Lowers System Cost, Simplifies Design Efforts, and Reduces Design Cycle Time
 - Simple Conversion of Platinum RTD Resistance to Digital Value
 - Handles 100Ω to $1k\Omega$ (at $0^\circ C$) Platinum RTDs (PT100 to PT1000)
 - Compatible with 2-, 3-, and 4-Wire Sensor Connections
 - SPI-Compatible Interface
 - 20-Pin TQFN and SSOP Packages
- High Accuracy Facilitates Meeting Error Budgets
 - 15-Bit ADC Resolution; Nominal Temperature Resolution $0.03125^\circ C$ (Varies Due to RTD Nonlinearity)
 - Total Accuracy Over All Operating Conditions: $0.5^\circ C$ (0.05% of Full Scale) max
 - Fully Differential V_{REF} Inputs
 - 21ms (max) Conversion Time
- Integrated Fault Detection Increases System Reliability
 - $\pm 45V$ Input Protection
 - Fault Detection (Open RTD Element, RTD Shorted to Out-of-Range Voltage, or Short Across RTD Element)

Ordering Information appears at end of data sheet.

Typical Application Circuits



Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on V_{DD} Relative to GND1.....	-0.3V to +4.0V	Continuous Power Dissipation ($T_A = +70^\circ\text{C}$)	
Voltage Range on BIAS, REFIN+, REFIN-, ISENSOR.....	-0.3V to ($V_{DD} + 0.3\text{V}$)	TQFN (derate 34.5mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$).....	2758.6mW
Voltage Range on FORCE+, FORCE2, FORCE-, RTDIN+, RTDIN- Relative to GND1	-50V to +50V	SSOP (derate 11.9mW/ $^\circ\text{C}$ above $+70^\circ\text{C}$).....	952.4mW
Voltage Range on DVDD Relative to DGND.....	-0.3V to +4.0V	ESD Protection (all pins, Human Body Model).....	$\pm 2\text{kV}$
Voltage Range on All Digital Pins Relative to DGND.....	-0.3V to ($V_{DVDD} + 0.3\text{V}$)	Operating Temperature Range.....	-40°C to $+125^\circ\text{C}$
		Junction Temperature.....	$+150^\circ\text{C}$
		Storage Temperature Range.....	-65°C to $+150^\circ\text{C}$
		Soldering Temperature (reflow).....	$+260^\circ\text{C}$
		Lead Temperature (soldering, 10s).....	$+300^\circ\text{C}$

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Package Thermal Characteristics (Note 1)

TQFN	Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}).....	$29^\circ\text{C}/\text{W}$	SSOP	Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}).....	$84^\circ\text{C}/\text{W}$
	Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}).....	$2^\circ\text{C}/\text{W}$		Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}).....	$32^\circ\text{C}/\text{W}$

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

Recommended DC Operating Conditions

($T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted.) (Notes 2 and 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
V_{DD}	V_{DD}		3.0	3.3	3.6	V
DVDD	V_{DVDD}		3.0	3.3	3.6	V
Input Logic 0	V_{IL}	\overline{CS} , SDI, SCLK	-0.3		$0.3 \times V_{DVDD}$	V
Input Logic 1	V_{IH}	\overline{CS} , SDI, SCLK	$0.7 \times V_{DVDD}$		$V_{DVDD} + 0.3$	V
Analog Voltages (FORCE+, FORCE2, FORCE-, RTDIN+, RTDIN-)		Normal conversion results	0		V_{BIAS}	V
Reference Resistor	R_{REF}		350		10k	Ω
Cable Resistance	R_{CABLE}	Per lead	0		50	Ω

Electrical Characteristics

($3.0\text{V} \leq V_{DD} \leq 3.6\text{V}$, $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$, unless otherwise noted. Typical values are $T_A = +25^\circ\text{C}$, $V_{DD} = V_{DVDD} = 3.3\text{V}$.) (Notes 2 and 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
ADC Resolution		No missing codes		15		Bits
ADC Full-Scale Input Voltage (RTDIN+ - RTDIN-)				REFIN+ - REFIN-		V