



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto de Investigación previo
a la obtención del título de
Ingeniero Mecánico.

Título del Proyecto de Investigación:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA TÉRMICO INDUSTRIAL QUE
REGULE AUTOMÁTICAMENTE LA TEMPERATURA Y AIREACIÓN DEL
AGUA, PARA UN ESTANQUE DE CULTIVO DE TILAPIAS UBICADO EN LA
FINCA EXPERIMENTAL “LA MARÍA” DE LA UTEQ”**

Autores:

Jean Carlos Espín Padilla
Jenny Vanessa Jurado Olalla

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Ernesto Javier Ruano Herrería, MSc

Quevedo – Los Ríos – Ecuador.

2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Nosotros, **Jean Carlos Espín Padilla** y **Jenny Vanessa Jurado Olalla** declaramos que la investigación aquí descrita es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. _____

Jean Carlos Espín Padilla

C.C. # 1207054832

f. _____

Jenny Vanessa Jurado Olalla

C.C.# 1206780940



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Ernesto Javier Ruano Herrería, MSc.**, Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que los estudiantes **Jean Carlos Espín Padilla** y **Jenny Vanessa Jurado Olalla**, realizaron el Proyecto de Investigación de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA TÉRMICO INDUSTRIAL QUE REGULE AUTOMÁTICAMENTE LA TEMPERATURA Y AIREACIÓN DEL AGUA, PARA UN ESTANQUE DE CULTIVO DE TILAPIAS UBICADO EN LA FINCA EXPERIMENTAL “LA MARÍA” DE LA UTEQ”** , previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

Ing. Ernesto Javier Ruano Herrería, MSc.
DIRECTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

Por medio de la presente me permito certificar, que el Sr. **JEAN CARLOS ESPIN PADILLA** con número de cédula **1207054832** y la Srta. **JENNY VANESSA JURADO OLALLA** con número de cédula **1206780940**, estudiante de la carrera de **Ingeniería Mecánica**, una vez revisada la tesis de grado titulada **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA TÉRMICO INDUSTRIAL QUE REGULE AUTOMÁTICAMENTE LA TEMPERATURA Y AIREACIÓN DEL AGUA, PARA UN ESTANQUE DE CULTIVO DE TILAPIAS UBICADO EN LA FINCA EXPERIMENTAL “LA MARÍA” DE LA UTEQ”**, tengo a bien informar que se realizó la revisión respectiva por medio del sistema Urkund, con un porcentaje favorable del 3%, cumpliendo con el reglamento de Graduación de Estudiantes de Pregrado y la Normativa establecida por la Universidad.

URKUND	
Documento	Tesis final Correccion (Espin- Jurado).docx (D53863763)
Presentado	2019-06-14 15:50 (-05:00)
Presentado por	Ernesto Ruano (eruano@uteq.edu.ec)
Recibido	eruano.uteq@analysis.urkund.com
	3% de estas 45 páginas, se componen de texto presente en 7 fuentes.

Ing. Ernesto Javier Ruano Herrería, MSc.
DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Título:

“Diseño y construcción de un sistema térmico industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua, para un estanque de cultivo de tilapias ubicado en la Finca Experimental “La María” de la UTEQ”

Presentado al Consejo Académico como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Marlene Luzmila Medina Villacís

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Rubén Patricio Alcocer Quinteros

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Marcelo Rodrigo García Saquicela

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2019

AGRADECIMIENTO

Siempre agradecerle a nuestro Padre Celestial por haberme dado la vida, y permitirme alcanzar una más de mis metas de gran importancia para mí, y también darme todo eso conocimientos necesarios para desarrollar este proyecto.

Concluyendo con este proyecto me llena de satisfacción y orgullo, ya que con todos los conocimientos aprendidos durante toda mi preparación universitaria pude contribuir a la propia universidad donde estudié en el área de acuicultura, optimizando procesos de producción con la finalidad de despertar interés a realizar futuras investigación.

También agradecer a mis padres por guiarme por el camino de la educación además por su apoyo incondicional, comprender en todo momento, enseñarme a nunca rendirme y siempre guiarme por el camino correcto hacia la superación.

A todos cien conformar la conforman la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, quienes compartieron sus conocimientos y aconsejaron para formarme como profesional, en especial agradecerles a los Ing. Jorge Luis Guadalupe, Ing. Ernesto Ruano, Ing. Marcelo Gracia, Ing. Marlene Medina y Ing. Jorge Rodríguez, excelentes profesionales quienes me ayudaron con el desarrollo de mi proyecto de investigación.

Jean Carlos Espin Padilla

AGRADECIMIENTO

Primeramente, le doy gracias a Dios por haberme dado el don de la vida, por haberme permitido culminar con este ciclo de mi vida profesional, a todos mis familiares y amistades que me supieron apoyaron en esta etapa de mi vida en la que se me presentaron momentos difíciles, alegrías y tristezas. A mi padre, madre y hermano por todo su amor, comprensión y apoyo en los momentos más difíciles que he tenido que pasar. Las veces que me han apoyado, se reflejan hoy en este día, gracias a ustedes todo esto fue posible lograr.

Agradezco a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por la oportunidad de terminar mis estudios en esta noble institución, al Ingeniero Ernesto Ruano por la ayuda brindada como tutor para que esta meta se pueda cumplir, al Ingeniero Marcelo García por todo su apoyo brindado, a todos los ingenieros que formaron parte de este ciclo de mi vida, por sus sabios consejos y conocimiento impartido en las aulas de estudio.

Jenny Vanessa Jurado Olalla.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a nuestro Padre Celestial, por darme día a día esas fuerzas necesarias para superar todas las adversidades que se me presentan.

A mis padres Mercedes Padilla y Luis Espin gracias al esfuerzo realizado de ellos, siendo mis directrices inculcándome en todo momento valores me han permitido desarrollarme como un gran ser humano y profesional.

A mis hermanos, tíos, primos y en especial a mi esposa que conocen todo el esfuerzo realizado por culminar mi carrera universitaria dándome ese apoyo moral que ha sido de gran ayuda para no rendirme.

Este proyecto de investigación, es de mucho esfuerzo y dedicación, se lo dedico a Dios por darme las fuerzas, coraje y valentía, a mi Papi Carlos J y Mami Nallye O, por apoyarme en cada momento importante de mi vida tanto en mis angustias y desesperaciones, noches sin dormir, mi hermano por brindarme sus consejos y ayuda para lograr este objetivo que no solo es mío, es de todo ustedes.

A mi familia que con sus sabios consejos he podido salir adelante, mi tío paterno que fue un gran soporte en este ciclo, por darme los ánimos para no rendirme, aquellos docentes que me brindaron sus enseñanzas académicas y su amistad a lo largo de mi carrera profesional.

Jean Carlos Espin Padilla.

Jenny Vanessa Jurado Olalla.

RESUMEN

La piscicultura hoy en día es una ciencia de gran demanda por la producción de peces, entre los que resalta la tilapia roja (*Oreochromis sp*), debido a que su consumo nos proporciona nutrientes de vital importancia. Esta especie requiere de condiciones ambientales de temperatura cálida entre 28-32 °C para su producción, gracias a la aplicación de tecnología, ingeniería, biología, ecología, podemos implementar sistemas térmicos que permitan tener un hábitat de confort para esta especie. Otro factor importante que debemos considerar es la oxigenación, mediante este sistema se genera un movimiento del agua constante que permite mantener el oxígeno ideal para el proceso de producción, evitando las pérdidas por mortalidad. El proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un sistema industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua. Para el diseño del calentador eléctrico se utilizó el software SOLIDWORKS 2018 y el análisis térmico del estanque en estudio, se realizó una simulación básica en el ANSYS 19,2. Con la implementación del controlador de temperatura PID (*Proporcional, Integral y derivativo*), en la parte térmica y la aireación a través de un sistema eléctrico-mecánico, con un temporizador para el encendido automático. Como resultado el sistema térmico industrial trabaja automáticamente durante cinco horas, para alcanzar un equilibrio térmico de 32 °C que es la temperatura óptima de esta especie, el sistema de aireación es complementado con una instalación electro-mecánica que permite el encendido automático del generador al existir ausencia de energía eléctrica en la línea principal. Este proyecto tiene el propósito de contribuir a la Facultad de Ciencias Pecuarias, haciendo que exista un interés en el área piscicultura con la finalidad de incentivar a futuros emprendimiento e investigaciones.

Palabras claves: Piscicultura, tecnología, coeficiente térmico, oxigenación, simulación.

ABSTRACT

Aquaculture today is a science of great demand for fish production, among which is the Red tilapia (*Oreochromis* sp), because its consumption gives us nutrients of vital importance. This species requires environmental conditions of warm temperature between 28-32 ° C for its production, thanks to the application of technology, engineering, biology, ecology, we can implement thermal systems that allow to have a habitat of comfort for this Species. Another important factor that we should consider is oxygenation, through this system generates a constant water movement that allows to maintain the ideal oxygen for the production process, avoiding losses due to mortality. The project focuses on the design and construction of an industrial system that automatically regulates the temperature and aeration of the water. For the design of the electric heater the SOLIDWORKS 2018 software and the thermal analysis of the pond under study were used, a basic simulation was performed on the ANSYS 19.2. With the implementation of the PID temperature controller (proportional, Integral and derivative), in the thermal part and aeration through an electrical-mechanical system, with a timer for automatic ignition. As a result, the industrial thermal system works automatically for five hours, in order to achieve a thermal equilibrium of 32 °c which is the optimum temperature of this species, the aeration system is complemented with an elected-mechanical installation that it allows automatic ignition of the generator when there is no electrical power in the main line. This project is intended to contribute to the school of Livestock sciences, with an interest in the aquaculture area in order to encourage future undertaking and research.

Keywords: Aquaculture, technology, thermal coefficient, oxygenation, simulation.

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS	ii
CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN..	iii
CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO	iv
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRIBUNAL	iv
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
CÓDIGO DUBLIN	xviii
1. CAPÍTULO I CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Problema de la investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema	4
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos	6
1.2.1. Objetivo General	6
1.2.2. Objetivos Específicos	6
1.3. Justificación.....	7
2. CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.	8
2.1. Marco conceptual	9
2.1.1. Tilapia.....	9
2.1.2. Hábitat de la tilapia.....	9
2.1.3. Transferencia de calor	9
2.1.4. Resistencias térmicas.....	9
2.1.5. Sensores de temperatura	10
2.1.6. Controlador PID	10
2.1.7. Control automático de procesos	10
2.1.8. Blower	10
2.2. Marco referencial	11
2.2.1. Acuicultura	11
2.2.2. Características de la especie	12
2.2.3. Requerimientos del medio ambiente para el cultivo de tilapia	14
2.2.4. Infraestructura de producción.....	15

2.2.5.	Sistema Biofloc	16
2.2.6.	Balance de energía del sistema.....	17
2.2.7.	Resistencias	23
2.2.8.	Controlador PID	24
3.	CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	28
3.1.	Localización	29
3.1.1.	Localización del estanque en estudio	29
3.2.	Tipo de investigación	29
3.2.1.	Investigación descriptiva.....	29
3.2.2.	Investigación exploratoria	29
3.2.3.	Investigación Bibliográfica	30
3.3.	Métodos de investigación.....	30
3.3.1.	Método cuantitativo.....	30
3.3.2.	Método histórico.....	30
3.3.3.	Método analítico.....	30
3.4.	Fuentes de recopilación de información.....	31
3.4.1.	Fuente primaria.....	31
3.4.2.	Fuente secundaria	31
3.5.	Diseño de la investigación.....	31
3.5.1.	Diseño no experimental.....	31
3.6.	Instrumento de investigación.....	31
3.7.	Tratamiento de los datos.....	32
3.8.	Recursos humanos y materiales	32
3.8.1.	Recursos humanos	32
3.8.2.	Recursos de materiales	32
4.	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1.	Información Recabada.....	35
4.1.1.	Proceso de producción de las tilapias.....	35
4.2.	Sistema de calentamiento para el estanque en estudio	38
4.2.1.	Clima del Cantón Quevedo	38
4.2.2.	Temperatura del agua del estanque	38
4.2.3.	Datos del estanque en estudio	39
4.2.4.	Cálculo de las pérdidas en el estanque circular del cultivo de tilapias.....	39
4.2.5.	Simulación básica en Ansys del estanque en estudio.....	54

4.2.6.	Bomba requerida	56
4.2.7.	Tiempo de descarga.....	59
4.2.8.	Diseño del sistema de control de proceso de temperatura del agua y del motor generador	60
4.2.9.	Esquema del sistema eléctrico de motor generador y el sistema de calentamiento.....	61
4.2.10.	Selección de materiales y equipos para desarrollar el prototipo	62
4.3.	Construcción del sistema térmico industrial	69
4.4.	Análisis económico para la construcción del prototipo.....	72
4.4.1.	Costos de inversión para el sistema térmico industrial	72
4.4.2.	Costos de inversión para mejoramiento del motor generador	73
4.4.3.	Costos de inversión en alimentación	74
4.4.4.	Costos de inversión en energía eléctrica	74
4.4.5.	Ganancias de ventas	75
4.4.6.	Detalle final de inversión, ingresos y egresos	75
4.4.7.	Valor beneficio costo.....	76
4.4.8.	Cálculo de la TIR Y VAN	76
5.	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
5.1.	Conclusiones	79
5.2.	Recomendaciones	81
6.	CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	82
7.	CAPÍTULO VII ANEXOS	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de tilapias en Quevedo	12
Figura 2. Morfología externa de la tilapia roja.....	13
Figura 3. Estanques de cultivo de tilapias del Campus La María de la UTEQ	15
Figura 4. Jaulas para cultivo de tilapias en ríos.....	16
Figura 5. Pérdidas en una piscina	17
Figura 6. Balance de energía del sistema	18
Figura 7. Evaporización en una piscina.....	19
Figura 8. Pérdidas por radiación.....	20
Figura 9. Pérdidas por convección	21
Figura 10. Pérdidas por conducción	23
Figura 11. Resistencia de inmersión.....	24
Figura 12. Controlador PID.....	24
Figura 13. Partes de controlador PID	24
Figura 14. Diagrama de bloque de un sistema de control realimentado.....	26
Figura 15. Sensor de temperatura PT100	27
Figura 16. Temporizador digital.....	27
Figura 17. Ubicación geográfica de Finca Experimental La María	29
Figura 18. Estanques de cultivo de tilapias área de piscicultura	35
Figura 19. Estanques en estudio de cultivo de tilapias con sistema BIOFLOC	37
Figura 20. Temperatura promedio del estanque de cultivo de tilapias en estudio.....	38
Figura 21. Piscina luego de transcurrir 1 hora.....	54
Figura 22. Piscina luego de transcurrir 2 horas.	55
Figura 23. Piscina luego de haber transcurrido 4 horas.....	55
Figura 24. Piscina cuando se alcanza el equilibrio térmico.....	56
Figura 25. Sistema de control del proceso.....	60
Figura 26. Diagrama de bloques del sistema de control.....	61
Figura 27. Circuito eléctrico del sistema de calentamiento.....	61
Figura 28. Circuito eléctrico para el generador	62
Figura 29. Controlador PID TCN4s	63
Figura 30. Resistencia por inmersión	64
Figura 31. Sensor Pt100	64

Figura 32. Termostato RAINBOW	65
Figura 33. Electroválvula EBCHQ.....	66
Figura 34. Contactor Siemens	66
Figura 35. Contactor LS	67
Figura 36. Breaker General Electric	68
Figura 37. Láminas de acero galvanizado	68
Figura 38. Estanque circular de estudio	69
Figura 39. Base para instalación y techado	69
Figura 40. Calentador Eléctrico.....	70
Figura 41. Conexión del sistema de evacuación.....	70
Figura 42. Instalación de carga y descarga del sistema de agua.....	71
Figura 43. Instalación eléctrica del sistema industrial.....	71
Figura 44. Panel de control.....	72

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Conceptos básicos de control de procesos.....	25
Tabla 2. Producción de tilapias con sistema de crecimiento BIOFLOC del área de piscicultura de la UTEQ	36
Tabla 3. Medición de temperatura del agua en verano en el estanque	36
Tabla 4. Medición de temperatura del agua en invierno en el estanque.....	37
Tabla 5. Parámetro climático promedio de Quevedo de 2018	38
Tabla 6. Valores del estanque en estudio	39
Tabla 7. Propiedades físicas del agua.....	39
Tabla 8. Temperaturas y humedad relativa	39
Tabla 9. Constantes y coeficientes	40
Tabla 10. Humedad absoluta del aire saturado a diferentes temperaturas.....	40
Tabla 11. Cálculo de grado a grado del flujo de evaporización	41
Tabla 12. Cálculo de grado a grado de las pérdidas de evaporización.....	42
Tabla 13. Cálculo de grado a grado de las pérdidas de radiación	44
Tabla 14. Datos para obtener el coeficiente de transferencia de calor caso aire	45
Tabla 15. Cálculo grado a grado de pérdidas por convección (agua – aire).....	46
Tabla 16. Datos para determinar el coeficiente de transferencia de calor caso agua	47
Tabla 17. Cálculo grado a grado de pérdidas por convección (agua – pared).....	48
Tabla 18. Calculo grado a grado de pérdidas totales de convección.....	49
Tabla 19. Cálculo grado a grado de pérdidas por conducción.....	50
Tabla 20. Pérdida total del estanque en estudio.....	51
Tabla 21. Cálculo grado a grado de calor de ganancia y tiempo estimado	53
Tabla 22. Factores y datos para hallar la potencia.....	56
Tabla 23. Datos del calentador eléctrico	59
Tabla 24. Costos de inversión sistema de calentamiento	72
Tabla 25. Costos de inversión generador	74
Tabla 26. Costos de Alimentación en los 3 meses	74
Tabla 27. Costos consumo de energía eléctrica.....	75
Tabla 28. Ingresos de la producción.....	75
Tabla 29. Inversión, Ingresos y Egresos.....	75

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Vista panorámica del programa de piscicultura de la UTEQ.	86
Anexo 2. Sistema de evacuación de residuos sólidos del estaque en estudio biofloc.	86
Anexo 3. Sistema de oxigenación instalado en el estaque en estudio.	87
Anexo 4. Sopladores regenerativos que permiten la oxigenación del agua (Biofloc).	87
Anexo 5. Vista del estanque de estanque circular de concreto en estudio.	88
Anexo 6. Estado en el que se encontró al motor generador.	88
Anexo 7. Sensor EconSense DO200A y Controlador de temperatura TCN4S utilizados para medición de temperatura en el estanque en estudio.	89
Anexo 8. Producción de tilapias en el programa de piscicultura de la UTEQ.	89
Anexo 9. Diseño del calentador eléctrico en Solidworks 2018.	90
Anexo 10. Construcción de reservorio del calentador eléctrico en Taller Industrial Salazar.	90
Anexo 11. Adecuación del lugar donde se instaló el sistema térmico industrial.	91
Anexo 12. Materiales y equipos para la instalación del calentador eléctrico.	91
Anexo 13. Limpieza del estanque, mantenimiento del sistema de oxigenación.	92
Anexo 14. Sistema de carga y descarga del calentador eléctrico.	92
Anexo 15. Instalación de la caja de control del sistema térmico Industrial.	93
Anexo 16. Instalación completa del Sistema Térmico Industrial.	93
Anexo 17. Sistema térmico industrial, en funcionamiento cerca de llegar al set point de 32 °C establecido.	94
Anexo 18. Caja de control de sistema de encendido automático del generador.	94
Anexo 19. Generador con su conexión de sistema automático, en funcionamiento	95
Anexo 20. Mediciones de humedad con el termohigrómetro.	95
Anexo 21. Manual de funcionamiento de sistema de calentamiento y aireación.	96

CÓDIGO DUBLIN

Título	Diseño y construcción de un sistema térmico industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua, para un estanque de cultivo de tilapias ubicado en la Finca Experimental la María de la UTEQ.				
Autores	Espín padilla Jean Carlos; Jurado Olalla Jenny Vanessa				
Palabras claves	Piscicultura	Tecnología	Oxigenación	Coficiente térmico	Simulación
F. publicación					
Editorial	Quevedo: UTEQ, 2019				
	Resumen.- La piscicultura hoy en día es una ciencia de gran demanda por la producción de peces, entre los que resalta la tilapia roja (<i>Oreochromis sp</i>), debido a que su consumo nos proporciona nutrientes de vital importancia. Esta especie requiere de condiciones ambientales de temperatura cálida entre 28-32 °C para su producción, gracias a la aplicación de tecnología, ingeniería, biología, ecología, podemos implementar sistemas térmicos que permitan tener un hábitat de confort para esta especie. Otro factor importante que debemos considerar es la oxigenación, mediante este sistema se genera un movimiento del agua constante que permite mantener el oxígeno ideal para el proceso de producción, evitando las pérdidas por mortalidad. El proyecto se enfoca en el diseño y construcción de un sistema industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua. Para el diseño del calentador eléctrico se utilizó el software SOLIDWORKS 2018 y el análisis térmico del estanque en estudio, se realizó una simulación básica en el ANSYS 19,2. Con la implementación del controlador de temperatura PID (<i>Proporcional, Integral y derivativo</i>), (...). Abstract. - Aquaculture today is a science of great demand for fish production, among which is the Red tilapia (<i>Oreochromis sp</i>), because its consumption gives us nutrients of vital importance. This species requires environmental conditions of warm temperature between 28-32 ° C for its production, thanks to the application of technology, engineering, biology, ecology, we can implement thermal systems that allow to have a habitat of comfort for this Species. Another important factor that we should consider is oxygenation, through this system generates a constant water movement that allows to maintain the ideal oxygen for the production process, avoiding losses due to mortality. The project focuses on the design and construction of an industrial system that automatically regulates the temperature and aeration of the water. For the design of the electric heater the SOLIDWORKS 2018 software and the thermal analysis of the pond under study were used, a basic simulation was performed on the ANSYS 19.2. With the implementation of the PID temperature controller (<i>proportional, Integral and derivative</i>), (...).				
Descripción	117 hojas: Dimensiones 29x21 cm+ CD-ROM				
URI					

INTRODUCCIÓN

La acuicultura se ha dividido en varios tipos siendo uno de los más desarrollados la piscicultura, que tiene como objetivo la reproducción y crecimiento controlado de animales acuáticos, bajo condiciones específicas. En el Ecuador se aplica esta técnica principalmente para el cultivo de la tilapia, que ha probado ser una especie resistente a la manipulación, enfermedades, factores ambientales, entre otros.

La tilapia roja (*Oreochromis sp*) fue cultivada en Ecuador por primera vez en 1965, principalmente en el centro y sur del país. Estos peces se encuentran mayormente en zonas tropicales donde la temperatura del agua y las altas concentraciones de oxígeno permiten su reproducción y crecimiento. La producción de esta especie requiere mayor tiempo para alcanzar el desarrollo ideal para el mercado por déficit de condiciones ambientales favorables en el agua de los estanques.

Los factores que ayudan al crecimiento de la tilapia están relacionados con el buen manejo de los estanques o criaderos. Dentro de estos, están las condiciones físico – químicas y temperatura del agua. El cultivo de peces en estanques depende de las estratificaciones térmicas y la calidad del agua por lo que es necesario mantener las condiciones físicas y químicas dentro de los límites de tolerancia para la especie a cultivar, que son de gran importancia para el crecimiento y desarrollo, de la calidad del agua depende el éxito o el fracaso de los cultivos de peces.

Los parámetros que se deben tener en cuenta son: los físicos como la temperatura y oxígeno disuelto, tanto de la fuente como la del estanque. El crecimiento y desarrollo de los peces depende sobre todo del coeficiente térmico de crecimiento generado por la luz solar y por la transferencia de calor a través del agua, además la aireación complementaria sirve para mantener o compensar los niveles de tolerancia del oxígeno en los peces.

La razón principal por la que se construye el sistema térmico industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua, es para optimizar el proceso de producción en un menor tiempo en el criadero de tilapias de la Facultad de Ciencias

Pecuarías de la UTEQ, con la finalidad de minimizar los gastos de operación, alimentación y generar mayores ingresos a beneficio del área de piscicultura.

El capítulo I se encuentra la contextualización de la investigación del presente proyecto de investigación y dentro de su contenido se encuentra el problema de investigación, objetivos y justificación.

El fundamento teórico de la investigación es donde se detalla los conceptos básicos sobre la acuicultura, la biología de la tilapia, la infraestructura de producción, la calidad de agua, sistemas de producción, manejos de estanque, transferencia de calor, sistemas de calentamiento de agua, controles de procesos industriales, controles de temperaturas, estos temas son analizados en el capítulo II.

Concluyendo con los fundamentos básicos para el proceso de elaboración del sistema térmico industrial de control automático de temperatura del agua para estanque de cultivo de tilapias, se procede a iniciar con la metodología de investigación donde se detalla la localización de la investigación, tipo de investigación, método de investigación, diseño de investigación y los recursos humanos y materiales, se describe en el Capítulo III.

Lo primero en realizarse fue la recopilación de información que nos permitió construir este proyecto en algo innovador, no existen fuentes de información o trabajos ya realizados, permitiendo innovar con este estudio. El desarrollo de los cálculos y diseño del sistema térmico industrial y aireación es de gran importancia en el desarrollo de este proyecto de investigación, en base los resultados obtenidos podemos hacer la adquisición de los materiales, para así realizar la inversión para la puesta en marcha, teniendo en cuenta todos los cuidados necesarios, esto lo podemos observar a profundidad en el capítulo IV

Las conclusiones alcanzadas nos permitieron cumplir con los objetivos planteados, el mismo que se reflejan los cálculos y aplicaciones de manera práctica en dicho proyecto ver más adelante en el capítulo V.

CAPÍTULO I

CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

En el Cantón Quevedo por ser zona subtropical, posee un clima beneficioso para el desarrollo de la labor agropecuaria, pero no tanto para la piscicultura porque en el medio acuático su temperatura promedio es de 22°C, por este motivo la temperatura del agua no está dentro del rango ideal que es de 28 - 35 °C, para los parámetros físicos que requiere la tilapia roja (*Oreochromis sp*).

El proceso de la producción se extiende debido a que los peces no tienen un buen crecimiento y desarrollo, necesitan estar en un hábitat con una temperatura del agua promedio de 28-32 °C diariamente, para fortalecer su coeficiente térmico de crecimiento. Por las condiciones de temperatura y oxígeno disuelto a las que se encuentran sometidos, no se puede cumplir con el correcto proceso de producción.

Las tilapias rojas (*Oreochromis sp*) requieren mayor tiempo para alcanzar el peso ideal de venta en el mercado, este déficit se da porque el estanque donde son cultivadas no presenta las condiciones adecuadas de temperatura y oxígeno disuelto por esta razón dejan de alimentarse, extendiendo su proceso de crecimiento de 5 – 7 meses.

A temperatura no adecuada igual a 15°C dejan de alimentarse, su sistema inmune se debilita, por lo que se vuelven susceptibles a enfermedades, difíciles de manipular y su reproducción disminuye. Además, si desciende a menos de 12 °C las tilapias no sobreviven mucho tiempo. Además, si hubiera falta de oxigenación en el agua por más de tres horas los peces mueren.

- **Diagnóstico**

Al no tener implementado un sistema térmico que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua en el criadero de tilapias, no estarán dentro de un rango óptimo, dificultando el proceso de crecimiento de la tilapia, extendiendo su ciclo de producción con porcentajes de mortalidad elevados y esto conlleva a utilizar mayores recursos en dicha producción.

- **Pronóstico**

Con el diseño y construcción de un sistema térmico industrial que regula automáticamente la temperatura y aireación del agua, para un estanque de cultivo de tilapias ubicado en la Campus experimental “La María” de la UTEQ, el mismo permitirá optimizar el desarrollo de crecimiento de la tilapia generando un proceso de producción en menor tiempo, disminuyendo gastos de alimentación y cuidado. Sin la implementación del equipo industrial propuesto difícilmente se corregirá los cambios de temperatura bruscos en el agua de la piscina en estudio afectando la producción

1.1.2. Formulación del problema

¿La implementación de un sistema automatizado que regule el coeficiente térmico, así también como la oxigenación en la piscina de producción de tilapia de la Finca Experimental La María mejorará la producción?

¿Con el sistema de calentamiento térmico en la piscina de tilapias podremos tener una temperatura estable de 32°C, permitiendo reducir el tiempo de producción?

1.1.3. Sistematización del problema

¿La aplicación de un sistema automatizado de regulación de temperatura mejorará drásticamente la producción de tilapias en las piscinas de la Facultad de Ciencias Pecuarias en La María?

¿El desarrollo de este sistema de regulación térmica también mejorará la oxigenación del agua de las piscinas para elevar la producción de las tilapias en dichas instalaciones?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Construir un sistema térmico industrial que regule automáticamente la temperatura y aireación del agua, que permita optimizar el proceso de producción en un estanque de cultivo de tilapias, de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la UTEQ.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Diseñar el sistema de control del proceso de temperatura, en base a las dimensiones del criadero de tilapias.
- Seleccionar los equipos y materiales factibles, para el sistema térmico industrial.
- Construir el sistema térmico industrial para realizar las pruebas de funcionamiento de los equipos.
- Detallar un análisis económico del presupuesto para la construcción del prototipo.
- Recopilar información del proceso de producción de las tilapias, sistema de calentamiento y aireación del agua.

1.3. Justificación

El presente trabajo de investigación tiene como propósito innovar con la construcción de un sistema térmico industrial que regule automáticamente la temperatura y encendido del sistema de aireación del estanque para cultivo de tilapias que se encuentra en el área de piscicultura, de la Facultad de Ciencias Pecuarias del Campus Experimental La María de la UTEQ.

En la actualidad el área de piscicultura cuenta con cuatro estanques de concreto que están elaborados de manera artesanal, de diferentes dimensiones, en cada uno de los estanques está incorporado un sistema de recirculación y oxigenación manual del agua. La temperatura del agua varía de acuerdo a las condiciones ambientales, ya que no cuenta con ningún sistema que permita controlar esta variable de manera constante.

La finalidad de este proyecto es mantener la temperatura del agua en los rangos óptimos que son de 28 - 32 °C, para evitar los problemas que se presentan en esta especie cuando no se tiene la temperatura apropiada. Evitando pérdidas de la producción debido a que las tilapias son de clima cálido en los que alcanza mayor peso, mayor tamaño y en un menor tiempo de producción.

Con este proyecto se contribuye a la mejora continua de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la UTEQ, en el área de piscicultura, solucionando uno de los graves problemas que se encuentra en dicho cultivo de tilapias, que es controlar la temperatura y mantener la oxigenación para el correcto proceso de crecimiento de esta especie, además permitiendo que se reduzca el tiempo de producción, logrando los tamaños ideales para la comercialización, generando menor inversión de producción.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Tilapia

La tilapia es un pez de agua dulce perteneciente a la familia Cichlidae. Son nativas de África, pero se introdujeron en muchas regiones tropicales, subtropicales y templadas del mundo durante la segunda mitad del siglo XX, la tilapia tiene muchos atributos que los hacen un candidato ideal para la acuicultura, especialmente en los países en desarrollo [1].

2.1.2. Hábitat de la tilapia

Las tilapias o mojarra africanas cómo se las conocen en otros países, son especies aptas para el cultivo en zonas tropicales y subtropicales del país. Se las encuentra habitando en aguas lenticas, principalmente someras o turbias como lagos, lagunas, bordos, estanques, charcos [2].

2.1.3. Transferencia de calor

La transferencia de calor es una ciencia básica que trata de la rapidez de transferencia de energía térmica. Pero en la ingeniería a menudo se interesa estudiar la rapidez o razón de esa transferencia, como la ciencia que se ocupa de la transmisión de energía que puede ocurrir entre cuerpos de materiales como resultado de una diferencia de temperatura a través del tiempo [3].

2.1.4. Resistencias térmicas

Estas resistencias eléctricas están destinadas a calentar líquidos por inmersión directa, es decir, se cede calor directamente por el contacto entre el líquido y la resistencia. Están formadas por elementos tubulares blindados de acero inoxidable soldados a un racor de latón [4].

2.1.5. Sensores de temperatura

Los sensores son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo electrónico. Suele estar formado por el elemento sensor, que está complementada de un material altamente conductor de la temperatura [5].

2.1.6. Controlador PID

Un controlador PID es un mecanismo que realiza el control de una variable (velocidad, nivel, temperatura, flujo, presión, entre otras) a través de un lazo de retroalimentación. El lazo controla la variable final calculando la diferencia entre una variable real y una variable deseada [6].

2.1.7. Control automático de procesos

El control automático ha desempeñado una función vital en el avance de la ingeniería y la ciencia. Se ha vuelto una parte importante e integral de los procesos modernos industriales y de manufactura, es esencial en el control numérico de las máquinas herramienta de las industrias de manufactura y en las operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso [7].

2.1.8. Blower

Estos aireadores inyectan aire atmosférico a elevada presión rompiendo la fase líquida e ingresando en forma de pequeñas burbujas, las cuales transfieren el oxígeno atmosférico al agua del tanque [8].

2.2. Marco referencial

2.2.1. Acuicultura

La acuicultura es una de las mejores técnicas ideadas por el hombre para incrementar la posibilidad de alimento y se presenta como una nueva alternativa para la administración de los recursos acuáticos [9]. La acuicultura como actividad multidisciplinaria, constituye una empresa productiva que utiliza los conocimientos sobre biología, ingeniería y ecología, para ayudar a resolver el problema nutricional, y según la clase de organismos que se cultivan, se ha dividido en varios tipos, siendo uno de los más desarrollados la piscicultura o cultivo de peces y dentro de éste, el pez más utilizado a nivel mundial es la tilapia [9].

2.2.1.1. Piscicultura

Aplicada hoy por algunos a la multiplicación artificial de los peces, en su verdadera acepción expresa o significa la cría y propagación de estos animales, bien sea en plena libertad o bien encerrados en estanques u otros depósitos de agua de donde no puedan salir y vivan a expensas de los cuidados que se les brinde [10].

2.2.1.2. Producción de tilapia en Ecuador

A finales de los años noventa nuestro país sufrió la enfermedad viral denominada Mancha Blanca que atacó al sector camaronero y que conllevó a la pérdida de casi el 50% de la producción de la época [11].

La mayor parte de los productores camaroneros cuyos cultivos fueron afectados por el virus de la mancha blanca a finales de los años noventa, decidieron cambiar de producto comercial, es decir, tomaron la piscicultura de tilapia como negocio sabiendo la gran demanda en el mercado interno como podemos ver en la figura 1 y así también del mercado externo, especialmente a los Estados Unidos de América [11].

Figura 1. *Cultivo de tilapias en Quevedo*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J; UTEQ, 2018

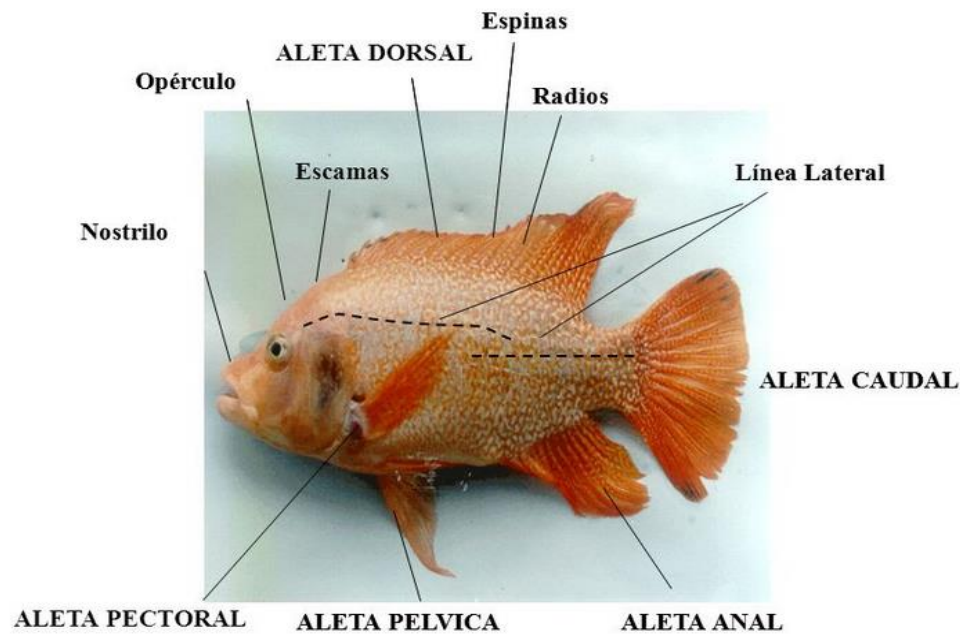
2.2.2. Características de la especie

2.2.2.1. Morfología externa

Presenta un solo orificio nasal a cada lado de la cabeza, que sirve simultáneamente como entrada y salida de la cavidad nasal. El cuerpo es generalmente comprimido y discoidal, raramente alargado. La boca es protáctil, generalmente ancha, a menudo bordeada por labios gruesos; las mandíbulas presentan dientes cónicos y en algunas incisivos [9].

Para su locomoción poseen aletas pares e impares. Las aletas pares las constituyen las pectorales y las ventrales; las impares están constituidas por las aletas dorsales, la caudal y la anal como se puede ver en la figura 2. La parte anterior de la aleta dorsal y anal es corta, consta de varias espinas y la parte terminal de radios suaves, disponiendo sus aletas dorsales en forma de cresta [9]. La aleta caudal es redonda, trunca y raramente cortada, como en todos los peces, esta aleta le sirve para mantener el equilibrio del cuerpo durante la natación y al lanzarse en el agua [9].

Figura 2. *Morfología externa de la tilapia roja*



FUENTE: ESTACIÓN DE PISCICULTURA ARAUCARIA B., 2009.

2.2.2.2. Hábitos reproductivos

Es una especie muy prolífera, a edad temprana y tamaño pequeño. Se reproduce entre 20 hasta 25 °C (trópico). El huevo de mayor tamaño es más eficiente para la eclosión y fecundidad. La madurez sexual se da a los 2 o 3 meses. En áreas subtropicales la temperatura de reproducción es un poco menor de 20 - 23 °C. La luz también influye en la reproducción, el aumento de la iluminación o disminución de 8 horas dificultan la reproducción. Tiene 7 etapas de desarrollo embrionario, después del desove completa 4 etapas. El tamaño del huevo indica cuál será el tamaño a elegir para obtener el mejor tamaño de alevín [9].

2.2.2.3. Hábitos alimenticios

El éxito de la actividad piscícola depende de la eficiencia en el cultivo, principalmente del manejo del alimento y técnicas de alimentación considerando la calidad y cantidad del alimento suministrado. La tilapia es omnívora y su requerimiento y tipo de alimento varían con la edad del pez. Durante la fase juvenil pueden alimentarse tanto de fitoplancton, zooplancton así como pequeños crustáceos [12] .

2.2.3. Requerimientos del medio ambiente para el cultivo de tilapia

✓ Temperatura

Es el factor externo que más influye en la regulación del ciclo reproductivo. En condiciones naturales, la tilapia vive en un rango de temperatura que oscila entre los 20 y 32 °C, siendo el rango de 24 a 30°C para la reproducción de la especie. La tilapia generalmente interrumpe su alimentación cuando la temperatura desciende hasta valores por debajo de 17 °C [13].

En condiciones controladas, la tasa reproductiva más óptima es entre 27 y 30 °C, siendo viable a temperaturas levemente inferiores. Por el contrario, a temperaturas debajo de los 20°C, toda actividad reproductiva queda suspendida [13] . Los cambios de temperatura afectan directamente la tasa metabólica, mientras mayor sea la temperatura, mayor tasa metabólica (cantidad de energía, necesaria para mantener el organismo en estado de reposo absoluto) y por ende, mayor consumo de oxígeno [13].

✓ Salinidad (pH)

El rango de pH adecuado para el cultivo de la tilapia es de 7 a 9, debiéndose controlar las variaciones del pH del medio, ya que valores superiores o inferiores a ese margen pueden generar cambios en el comportamiento de los peces, como letargia e inapetencia o implicar graves trastornos en las tasas de crecimiento, reproducción y supervivencia [13]. Valores cercanos a 5 provocan la muerte por fallos respiratorios en un período de 3 a 5 horas además de causar pérdidas de pigmentación y el aumento de las secreciones del mucus [13].

✓ Oxígeno disuelto

En general, las tilapias son capaces de sobrevivir a bajas concentraciones de oxígeno disuelto, por la capacidad que su sangre posee para saturarse de oxígeno, cuando la presión parcial de éste es baja. En esos casos, la tilapia tiene la facultad de reducir el consumo del mismo cuando las condiciones son adversas [13].

En concreto, la tilapia nilótica es capaz de sobrevivir en aguas cuya concentración de oxígeno disuelto es menor de 0.3 mg/l (miligramo por litro), considerablemente más baja

que la requerida por la mayor parte de especies cultivadas. Aunque la tilapia sea capaz de sobrevivir en condiciones de muy baja concentración de oxígeno disuelto, durante varias horas, los estanques de cría de tilapia deberían mantener una concentración por encima de 2 mg/l [13].

✓ **Alcalinidad (dureza)**

Es la medida de la concentración de los iones de calcio (Ca) y magnesio (Mg), expresada en partes por millón (ppm) de su equivalente a carbonato de calcio. Existen en aguas blandas (menores de 100 ppm) y en aguas duras (mayores de 100 ppm). El rango de dureza para las tilapias es de 20-350 mg/l (miligramo x litro) de carbonato de calcio, siendo 75 mg/l, el valor óptimo para carbonato de calcio [13] .

2.2.4. Infraestructura de producción

✓ **Estanques**

Para el cultivo de tilapia en estanques se deben tener en consideración ciertas características como tamaño, ubicación, drenaje, etc. Como podemos observar en la figura 3 en la que se puede ver es de especial importancia el tamaño del estanque ya que permite que el cultivo de tilapia se puede llevar a cabo en diferentes grados de intensidad [12] .

Figura 3. *Estanques de cultivo de tilapias del Campus La María de la UTEQ*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J/QUEVEDO, 2019.

✓ Jaulas

El cultivo de tilapia se puede realizar en jaulas permitiendo una explotación intensiva de un cuerpo de agua lo que podemos observar en la figura 4. El cultivo intensivo de peces en jaulas de bajo volumen 1 a 4 m, a altas densidades 200 a 500 peces o 200 kg/m en jaulas podría convertirse en el medio de expansión más importantes y simple en la producción de tilapia [12].

Las jaulas se pueden construir en una gran variedad de formas, utilizando materiales como el bambú o tablas de madera y alambre, nylon u otras mallas sintéticas. Las estructuras de soporte pueden sostener las jaulas sobre la superficie del agua o sobre el fondo de un cuerpo de agua [9].

Figura 4. *Jaulas para cultivo de tilapias en ríos*



FUENTE: ELPRODUCTOR.COM., 2017.

2.2.5. Sistema Biofloc

El cultivo en biofloc es una alternativa de producción en la cual se utiliza proteína bacteriana de alto valor biológico como posible suplemento alimenticio y como estrategia para ahorrar recursos y mantener la calidad de agua dentro de los parámetros exigidos por la especie [14].

El desarrollo de los conceptos y aplicaciones referidas han dado origen al abreviado BFT (del inglés Bio-Floc Technology), que además se fundamenta en mantener las condiciones de calidad del agua en relación con la fijación y control del nitrógeno inorgánico tóxico [15].

2.2.5.1. Ventajas del biofloc

Las ventajas del cultivo en sistema biofloc han sido demostradas a través de muchas investigaciones, que mencionan resultados favorables en el crecimiento y la supervivencia de Tilapia [16].

2.2.5.2. Parámetros y condiciones de calidad del agua para cultivos con BFT

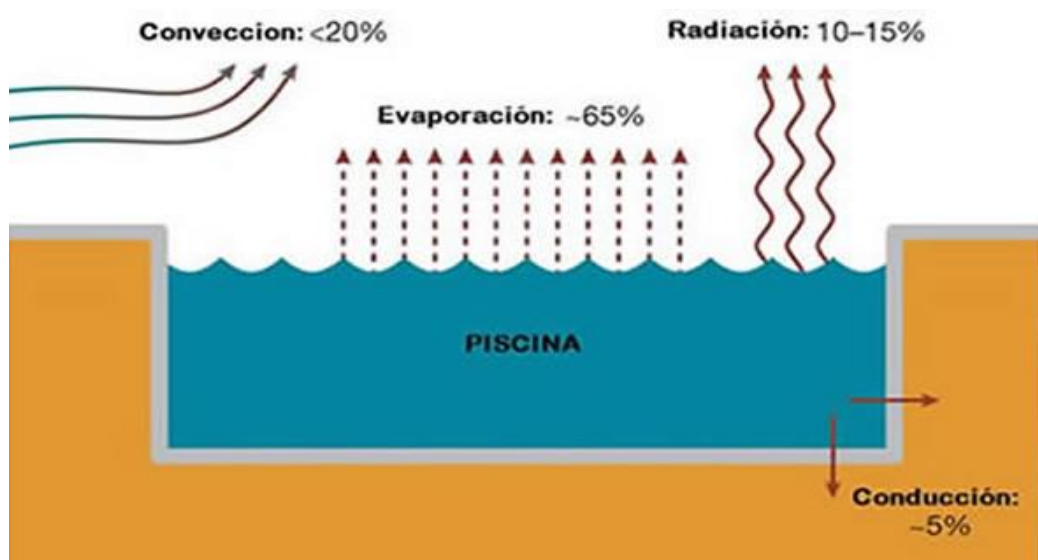
La medición de los parámetros de calidad de agua en cualquier sistema de cultivo acuícola es necesaria para garantizar la aplicación de buenas prácticas de manejo del cultivo que garantice el éxito del mismo, tal cuestión es además vital en el caso de cultivos con BFT [15]. Los parámetros básicos de medición en cultivos biofloc son: oxígeno, temperatura, pH, alcalinidad, amonio y solidos sedimentables [15] .

2.2.6. Balance de energía del sistema

La variación de la energía total del sistema durante un proceso de calentamiento es igual a la diferencia entre la energía que ingresa y la que sale del sistema [17].

$$E_{ent} - E_{sale} = \Delta E_{sistema} \quad \text{EC. 1}$$

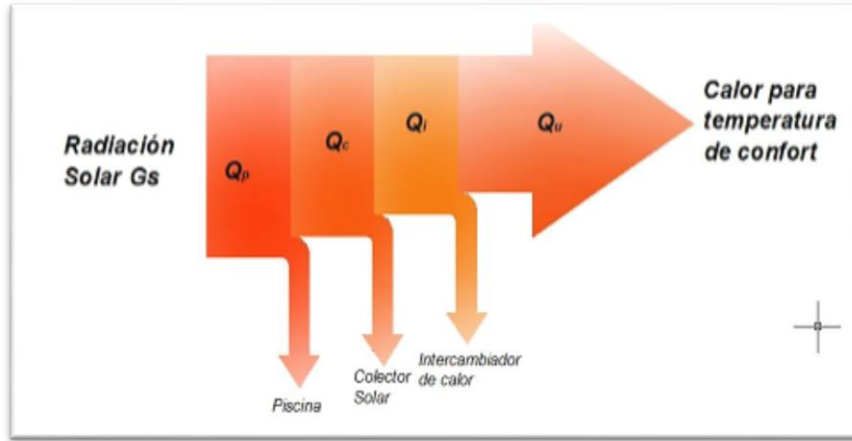
Figura 5. Pérdidas en una piscina



FUENTE: CUBREPISCINAS.

En la figura 6 se muestra un diagrama del balance de energía del sistema, establecido por la radiación solar absorbida, el calor aprovechado por el agua y las pérdidas de energía por transferencia de calor en la piscina, colector e intercambiador [17].

Figura 6. Balance de energía del sistema



FUENTE: TRANSFERENCIA DE CALOR; YUNUS CENGEL.

La ecuación del balance de energía está dada por:

$$\frac{dEc}{dt} = G_s * A - \dot{Q}_{eva} - \dot{Q}_{rad} - \dot{Q}_{conv} - \dot{Q}_{cond} - q_{RE} \quad \text{EC. 2}$$

Dónde:

G_s : Radiación Solar

A : Área superficial de la piscina

$\dot{Q}_{eva}$: Pérdidas por evaporación

$\dot{Q}_{rad}$: Pérdidas por radiación

$\dot{Q}_{conv}$: Pérdidas por convección

$\dot{Q}_{cond}$: Pérdidas por conducción

q_{RE} : Pérdidas por renovación del agua

Por medio de este balance se puede establecer la demanda total de calor para mantener la temperatura en la piscina y el diseño de los elementos que conforman el sistema permitirá aprovechar el calor eficientemente [17].

2.2.6.1. Pérdida de calor y variación de temperatura en el estanque de cultivo de tilapias

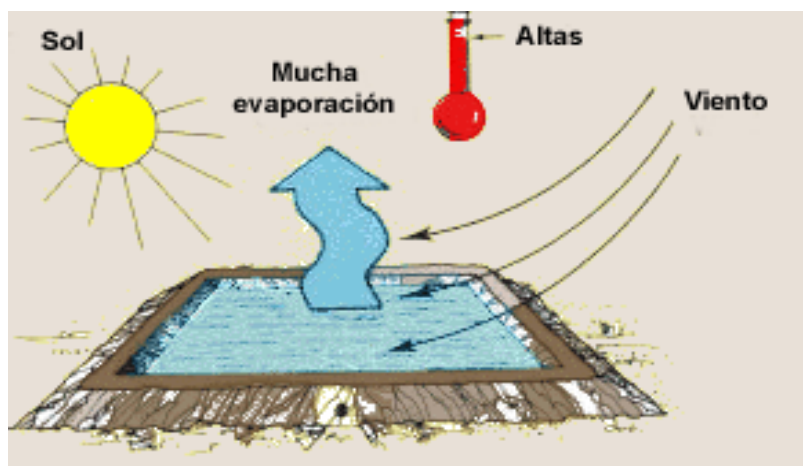
2.2.6.1.1. Pérdidas por evaporación

En los procesos de transferencia de masa no interviene la transferencia de calor debido a que estos ocurren isotérmicamente, sin embargo en ciertos casos se da la vaporización de un líquido y la difusión de este vapor hacia el gas circundante en el cual interviene el calor latente de vaporización hf_g para vaporizar el líquido, como podemos ver en la figura 7 por lo tanto se da simultáneamente la transferencia de calor y de masa [17].

En la vaporización del agua de la piscina hacia el aire cuando estos estén a la misma temperatura se pueden dar dos casos:

- Si el aire está saturado $MR = 100\%$ no habrá transferencia de calor o de masa en condiciones estables isotérmicas [17].
- Si el aire no está saturado $HR < 100\%$ existe una diferencia de concentración de vapor de agua en la interface agua-aire y a una distancia por encima de esta [17].

Figura 7. Evaporación en una piscina



FUENTE: FAO.

El balance de energía en una capa delgada del líquido en la superficie en condiciones estables de operación y una temperatura estable puede expresarse como [17]:

$$q_{evap} = m_e * C_v$$

EC. 3

Dónde:

m_e : Flujo de evaporización por unida de superficie

C_v : Calor latente de vaporización

2.2.6.1.2. Pérdidas por radiación

Si bien, todo cuerpo que se encuentre a una temperatura superior al cero absoluto (°K) emite radiación, así las cosas, la piscina al ser una masa, emite radiación en forma de calor al espacio exterior principalmente ver figura 8. Para el cálculo de estas pérdidas por radiación se cita la ley de Stefan-Boltzmann como se muestra en la ecuación 4 [18].

$$q_{rad} = A_s[\varepsilon * \sigma(T_a^4 - T_o^4)]$$

EC. 4

Dónde:

A_s : Área superficial de la piscina [m^2]

ε : Coeficiente de emisividad del agua

σ : Constante de Stefan-Boltzman $5,66E-8 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

T_a : Temperatura absoluta de la piscina [K]

T_o : Temperatura absoluta ambiente [K]

Figura 8. Pérdidas por radiación



FUENTE: VOCABULARIO GEOGRÁFICO.

2.2.6.1.3. Pérdidas por convección

Las pérdidas por convección son aquellas que se generan debido al movimiento del aire que está circulando a través de la superficie de la piscina, el cual toma calor sensible de la piscina y va enfriando esta, posteriormente el aire al ser menos denso comienza a subir y es remplazado por aire frío el cual toma nuevamente calor, generando un ciclo de pérdida ver figura 9. La ecuación 5, muestra una forma de calcular estas pérdidas [18].

$$q_{conv} = h_{ca} * A_s * (T_a - T_o) \quad \text{EC. 5}$$

Figura 9. Pérdidas por convección



FUENTE: WORDPRESS

Dónde:

A_s : Área superficial de la piscina [m^2]

h_{ca} : Coeficiente de transferencia de calor por convección [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]

T_a : Temperatura absoluta de la piscina [K]

T_o : Temperatura absoluta ambiente [K]

Para calcular el coeficiente de transferencia de calor en una placa plana horizontal se utiliza el número de Reynolds, que nos permite determinar el tipo de flujo [19].

$$N_{Re} = \frac{\rho * V * D}{\mu} \quad \text{EC. 6}$$

Dónde:

ρ : Densidad del fluido en $[\text{Kg}/\text{m}^3]$

μ : Viscosidad dinámica del agua $[\text{Pas}]$

V: Velocidad del fluido $[\text{m}/\text{s}]$

D: Diámetro de piscina $[\text{D}]$

El número de Nusselt es la relación que existe entre el calor transferido por convección a través del fluido y el que se transferiría si sólo existiese conducción, se lo determina mediante la ecuación 7, siendo para fluidos líquidos normales en calentamiento [19]:

$$N_{Nu} = 0,0296 * N_{Re}^{0.8} N_{Pr}^{0.4} \quad N_{Nu} = \frac{h * D}{k} \quad \text{EC. 7}$$

Dónde:

h: Coeficiente de transferencia de calor $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}]$

D: Diámetro de piscina $[\text{m}]$

k: conductividad térmica del aire $[\text{W}/\text{m } ^\circ\text{K}]$

El número de Prandtl, controla el espesor relativo de las capas límite de momento y térmica se lo halla mediante la siguiente ecuación [19]:

$$N_{Pr} = \frac{Cp * \mu}{k} \quad \text{EC. 8}$$

Dónde:

Cp: Calor específico del fluido $[\text{J}/\text{Kg } ^\circ\text{K}]$

k: Coeficiente de transferencia de calor $[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * ^\circ\text{C}}]$

μ : Viscosidad dinámica del agua $[\text{Pas}]$

2.2.6.1.4. Pérdidas por conducción

Las pérdidas por conducción a través de las paredes, se dan debido a la diferencia de temperaturas que hay entre el agua y las superficies en contacto con estas, así las cosas, si se tienen dos cuerpos en contacto a temperaturas diferentes este comportamiento lo podemos observar en la figura 10, el que tenga mayor temperatura, transferirá energía al cuerpo con menor temperatura, hasta alcanzar un equilibrio térmico. Estas pérdidas dependen de la arquitectura y de los materiales con los cuales está construida la piscina, debido a que cada material tiene consigo ciertas propiedades intrínsecas. Una expresión para calcular estas pérdidas se muestra en la ecuación 9 [18].

$$q_{cond} = s_{cerr} * K * (T_a - T_{paredes}) \quad \text{EC. 9}$$

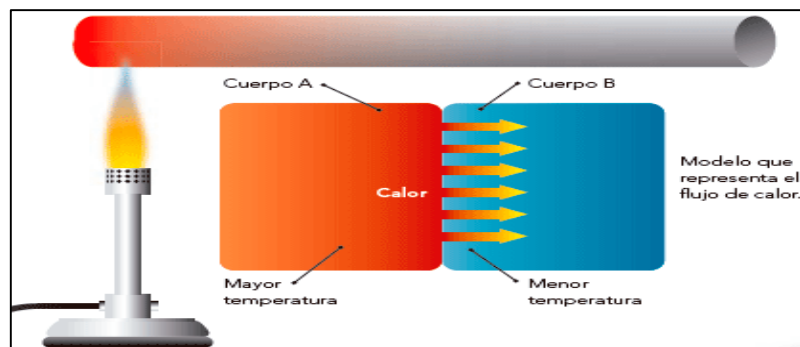
s_{cerr} : Superficie de cerramiento o área de contacto con el agua [m^2]

K : Coeficiente de transmisión en las paredes [$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$]

T_a : Temperatura de agua [$^\circ C$]

$T_{paredes}$: Temperatura de las paredes [$^\circ C$]

Figura 10. Pérdidas por conducción



FUENTE: WORDPRESS

2.2.7. Resistencias

Las resistencias de inmersión están diseñadas para el calentamiento en contacto directo con el fluido: agua, aceite, materiales viscosos, disoluciones ácidas o básicas. Dado que todo el calor se genera dentro del líquido, se alcanza un rendimiento energético máximo. Las resistencias de inmersión presentan varias opciones de acoplamiento al depósito o tanque donde se instalan: mediante Tapón roscado, con racores, con brida [20].

Tienen un proceso de producción estandarizado con tubo de acero inoxidable AISI 316L de 8 mm diámetro. Sin embargo todas ellas pueden producirse bajo demanda con distintas configuraciones, diámetros y materiales, tales como AISI 304, entre otros [21]. La figura 11 muestra el modelo de resistencia de inmersión.

Figura 11. Resistencia de inmersión

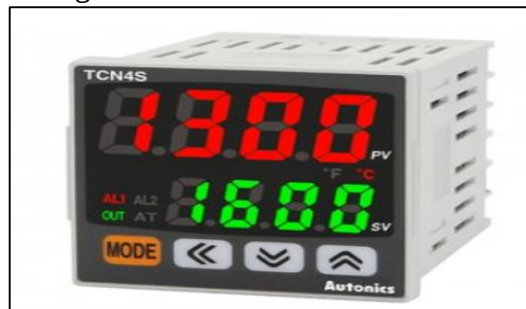


FUENTE: BACKER FACSA, 2017.

2.2.8. Controlador PID

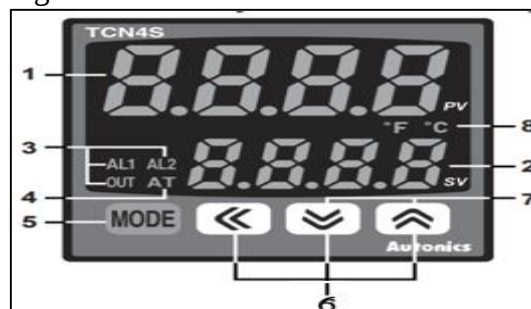
El controlador PID trata de aprovechar las ventajas de cada uno de los controladores de acciones básicas, de manera, que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral y, mientras que si la señal de error varía rápidamente, predomina la acción derivativa [6]. En las figuras 12,13, se muestra el controlador PID (TCN4S) y partes, respectivamente.

Figura 12. Controlador PID.



FUENTE: EPROM, 2019.

Figura 13. Partes de controlador PID



FUENTE: AUTONICS, 2019.

Partes del controlador:

1. Display de temperatura actual (PV) (Rojo).
2. Visualización de ajuste temperatura (SV) (Verde).
3. Indicador de visualización de salida de Control/Alarma.
4. Indicador de Auto tuning.
5. Mode (tecla).
6. Ajuste.
7. Tecla de entrada digital.
8. Indicador de unidad de temperatura ($^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{F}$).

2.2.8.1. Control automático de procesos

Es esencial en el control numérico de las máquinas herramienta de las industrias de manufactura y en las operaciones industriales como el control de presión, temperatura, humedad, viscosidad y flujo en las industrias de proceso como podemos ver en la tabla 1, algunos de las variables que poseen este tipo de sistemas de control [7].

Tabla 1. *Conceptos básicos de control de procesos*

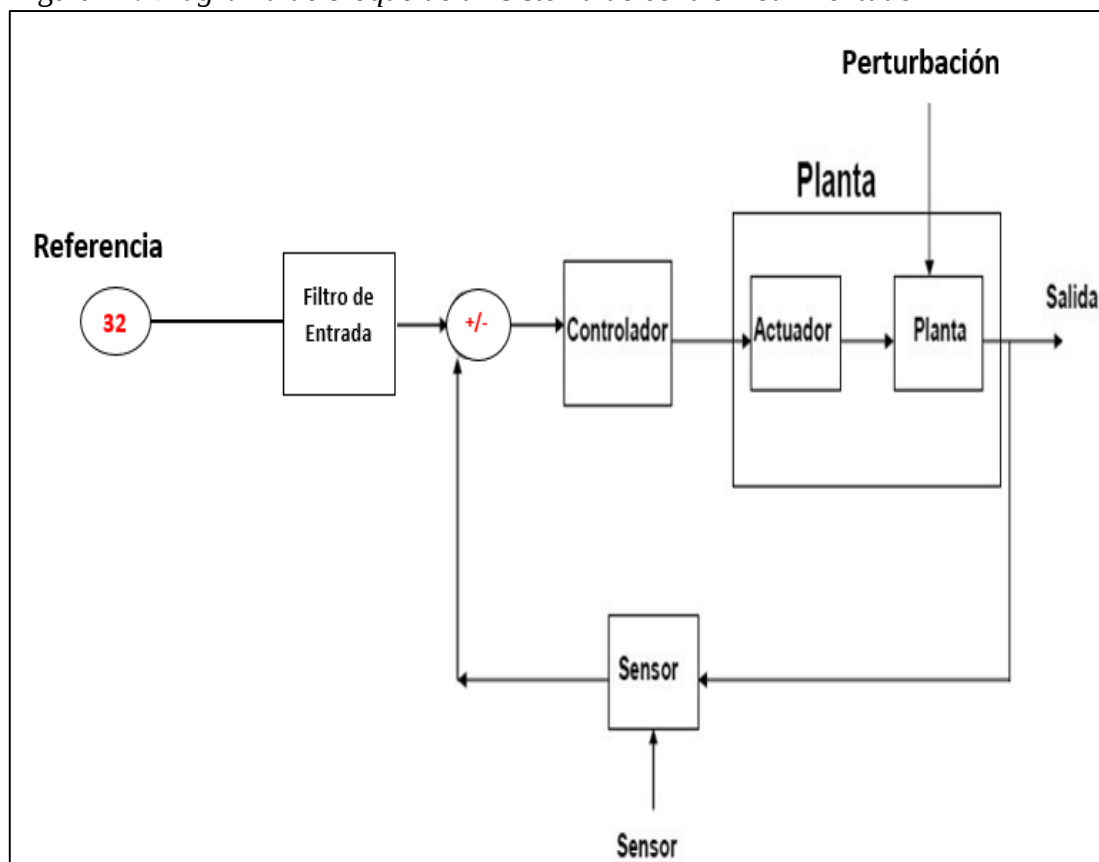
Variable	Definición
Proceso	El termino proceso se refiere a cambiar o refinar una materia prima para lograr un producto final.
Variable de proceso	La variable de proceso es aquella que puede cambiar las condiciones del proceso.
Variable manipulada	La variable manipula es aquella que se varia para mantener constante la variable medida.
Variable Medida	La variable medida es aquella a la cual se quiere mantener estable.
Set point	El Set point es el valor el cual se desea mantener la variable de proceso.
Error	El error es la diferencia entre la variable medida y el setpoint.
Controlador	El controlador es el equipo que recibe los datos medidos, los compara con el set point y si es caso toma las decisiones para que el proceso sea estable.
Actuador	El actuador es el dispositivo final de control que produce el cambio físico en el proceso.
Captador	El Captador es el dispositivo encargado de realizar las mediciones de la variable de proceso.

FUENTE: U. DE LA COSTA, 2015.

2.2.8.1.1. Control realimentado

El control realimentado se refiere a una operación que, en presencia de perturbaciones, tiende a reducir la diferencia entre la salida de un sistema y alguna entrada de referencia y lo continúa haciendo con base en esta diferencia. Aquí sólo se especifican con este término las perturbaciones impredecibles, dado que las perturbaciones predecibles o conocidas siempre pueden compensarse dentro del sistema como podemos apreciar en la figura 14, [7] .

Figura 14. Diagrama de bloque de un sistema de control realimentado



FUENTE. CARRILLO, 2008.

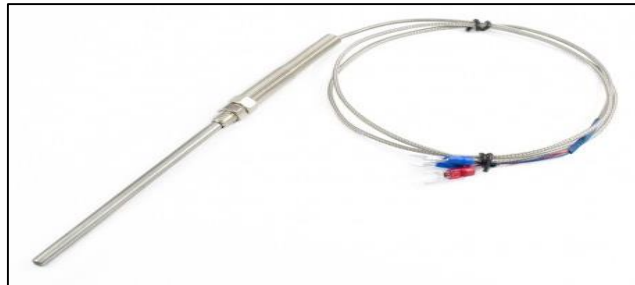
2.2.8.2. Sensor de temperatura

El sensor de temperatura, son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas, los principales tipos de sensores son de termistores, resistencias y termopares. Está compuestos de un material muy conductor de temperatura, para que los cambios se transmitan rápidamente al elemento sensor y del cable al que se conectarán el equipo electrónico [5].

2.2.8.2.1. Sensor de temperatura PT100

El sensor PT100 o sensor de temperatura es un RTD, ver figura 15, es una resistencia variable en función a la temperatura. Este sensor es compatible con cualquier sistema digital con ADC, como Arduino o Microcontroladores. Usualmente, la manera más sencilla de medir la temperatura con este sensor es mediante un divisor de voltaje. El sensor PT100 tiene una respuesta casi lineal. La variación de la resistencia depende de la dispersión de los electrones en el metal en función a la temperatura. En este caso el sensor PT100 es de platino, material que tiene alta linealidad [22].

Figura 15. Sensor de temperatura PT100

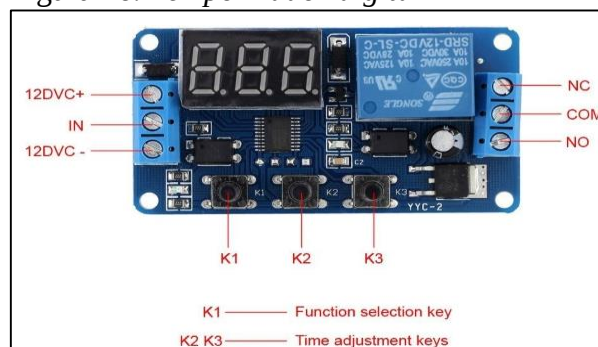


FUENTE: NAYLAMPMECHATRONICS; 2019.

2.2.8.3. Modulo temporizador digital

Un temporizador es un aparato con el que podemos regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico después de que se ha programado un tiempo, ver ilustración 16. El elemento fundamental del temporizador es un contador binario, encargado de medir los pulsos suministrados por algún circuito oscilador, con una base de tiempo estable y conocida. El tiempo es determinado por una actividad o proceso que se necesite controlar [23].

Figura 16. Temporizador digital



FUENTE: IGNACIO SUÁREZ; 2018.

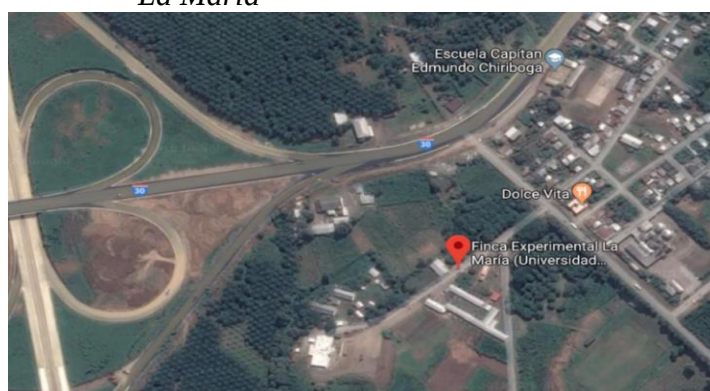
CAPÍTULO III
MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

3.1.1. Localización del estanque en estudio

El presente trabajo se desarrolló en el cantón Quevedo, perteneciente a la provincia de Los Ríos ubicado en el Km 7, de la vía Quevedo – El Empalme, ver figura 17. En el programa de piscicultura se encuentra formado por cinco estanques de cultivo de tilapias, perteneciente a la Facultad de Ciencias Pecuarias, en la Finca Experimental La María de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Figura 17. *Ubicación geográfica de Finca Experimental La María*



FUENTE. GOOGLE MAPS, 2018.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación descriptiva

Esta investigación permite inspeccionar, describir y hallar los diferentes sistemas, mecanismos que existen en la actualidad, además el sistema de control automático de temperatura del agua será un complemento para optimizar el proceso de cultivo de tilapia.

3.2.2. Investigación exploratoria

Este tipo de investigación es exploratoria debido a que según información que obtuvimos por el director del programa piscícola de “Facultad de Ciencias Pecuarias” Dr. Jorge Rodríguez aparentemente en nuestro país no se ha implementado un sistema de control automático de temperatura del agua para cultivo de tilapias, solo se encuentra estudios de sistemas de recirculación, tratamiento de agua y aireación de agua que son de complemento para el proceso de crecimiento.

3.2.3. Investigación Bibliográfica

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se tomó fuentes acerca del proceso de producción de las tilapias, temperatura óptima para el cultivo de tilapias, transferencias de calor, sistema de calefacción para piscinas, diseño de sistema de control de temperatura de agua, microprocesadores y sistema de control industrial.

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Método cuantitativo

En este proyecto se realizan distintos tipos de mediciones para calcular el volumen total del agua, la temperatura del agua en distintos puntos del estanque para cultivo de tilapias para determinar las pérdidas de transferencia de calor que existen y de esta manera calcular la temperatura se debe suministrar en el cultivo de tilapia.

3.3.2. Método histórico

Con este método se analiza los proyectos de investigaciones basados en la piscicultura de cultivo de tilapias y sistemas implementados para el óptimo crecimiento de esta especie, para examinar las mejoras que se aplicaron con la finalidad de optimizar su proceso de producción en el cultivo de tilapias.

3.3.3. Método analítico

Este método permite realizar un análisis del comportamiento de la producción del cultivo de tilapias, cuando el sistema de control automático de temperatura esté en funcionamiento, y evidenciar el proceso de crecimiento de esta especie además de esta manera nos permita determinar las mejoras que necesitan ser aplicadas para obtener un sistema automatizado.

3.4. Fuentes de recopilación de información

3.4.1. Fuente primaria

La información obtenida para la investigación es proporcionada por conocimientos de ingenieros especializados en la rama de piscicultura y control industrial.

3.4.2. Fuente secundaria

La información recopilada en este proyecto de investigación proviene de documentos, revistas, artículos científicos, libros, tesis de pregrado y posgrado, sitios web de actualidad.

3.5. Diseño de la investigación

3.5.1. Diseño no experimental

Se elabora el diseño de un sistema de control automático de temperatura del agua y este método se utilizó al instalar el sistema y ejecutar su funcionamiento manipulando la variable de temperatura, evidenciando el comportamiento del estanque de cultivo para tilapias, tomando en cuenta las pérdidas de calor y variaciones de temperatura a las que está expuesto, analizando estos parámetros se corregirá cualquier error que se presenten configurando el sistema de control automático bajo éstas condiciones.

3.6. Instrumento de investigación

Mediante un análisis de la información obtenida y determinando las condiciones en las que se encuentra el estanque de cultivo de tilapias, se debe considerar los parámetros a los que están expuesto, para ello se manejaron los siguientes instrumentos como software de diseño Solidworks y de simulación Ansys CFD con sus respectivos complementos que nos permite tabular y modificar datos bajo nuestras condiciones de trabajo proporcionando los resultados y gráficas para nuestra investigación.

3.7. Tratamiento de los datos

Para la elaboración de este proyecto se utiliza los datos obtenidos de la temperatura de agua del estanque de cultivo de tilapia que son proporcionados por Kit de medición de oxígeno y temperatura EcoSense DO200A, para luego ser tabulados y determinar la cantidad de calor que se necesita suministrar, posteriormente se procesan los datos en una hoja de cálculo.

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos humanos

- Ingeniero Mecánico, MSc
- Ingeniero Eléctrico, MSc
- Ingeniero Zootecnista, PhD
- Dos Tesistas

3.8.2. Recursos de materiales

Para el siguiente trabajo de investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Computadoras
- Libros
- Páginas web
- Artículos científicos
- Impresoras
- Pendrive
- Hojas
- Anillados/ empastados
- Calculadoras
- Cuaderno
- Esferos gráficos

3.8.2.1. Componentes electrónicos

- Sensor de temperatura Pt100
- Cables para conexiones
- Controlador PID
- Multímetro
- Temporizador
- Termocupla J
- Medidor de temperatura y oxígeno EcoSense DO200A
- Medidor de humedad termohigrómetro

3.8.2.2. Máquinas y herramientas

- Taladro
- Pulidora
- Bomba de agua
- Soldadora
- Llaves de pico e inglesa
- Destornilladores
- Alicates
- Martillo

3.8.2.3. Otros materiales

- Pernos
- Tuercas
- Brocas
- Disco de corte
- Electrodo
- Mangueras
- Abrazaderas
- Accesorios de tuberías

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Información Recabada

4.1.1. Proceso de producción de las tilapias

En el campus La María de la UTEQ, de la Facultad de Ciencia Pecuarias en el área de piscicultura, está conformado por cuatro estanques de concreto rectangulares y un estanque de concreto circular, con diversas dimensiones para el cultivo de tilapias, como se pueden evidenciar las condiciones actuales de la piscina ver la figura 18.

Figura 18. *Estanques de cultivo de tilapias área de piscicultura*



FUENTE: JURADO O. J., ESPIN P. J/ QUEVEDO 2018.

4.1.1.1. Proceso de producción de tilapias

El trabajo en la parte técnica, está bajo la responsabilidad de los docentes investigadores de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, quienes aseguran que el proyecto de cría de peces viene a constituir una innovación de producción agropecuaria. La modalidad de cultivo de tilapias utilizada es monocultivo, con un sistema de cultivo intensivo, por medio de estanques de concreto donde la producción de las tilapias tiene las siguientes características detalladas en la tabla 2.

Tabla 2. *Producción de tilapias con sistema de crecimiento BIOFLOC del área de piscicultura de la UTEQ*

Símbolo	Características	Descripción	Unidad
D	Diámetro del estanque	3,86	m
h	Profundidad media	0,90	m
V_t	Volumen total de agua para el cultivo	10,59	m ³
A_s	Área superficial del estanque circular	11,70	m ²
N_p	Número de peces a cultivar por m ²	60	peces
Ta	Temperatura del agua	21	°C
P	Peso promedio inicial	100	g
Np_i	Número promedio de peces a cultivar	500	peces
T	Periodo de cultivo	6-7	meses
n	Numero de peces	0	-
N	Número de espectadores	2	-
%	Porcentaje de mortalidad	1	%
Np_f	Número final de peces a cosechar	495	peces
pf	Peso promedio final	750	g
T_{prom}	Talla promedio	30	cm

FUENTE: ING. JORGE RODRÍGUEZ – ÁREA DE PISCICULTURA UTEQ, 2018

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.1.1.2. Estanque de cultivo tilapias en estudio

El estanque circular cuenta con un diámetro de 3,86 m, una profundidad de 0,90 m alcanzando un volumen de agua de 10,59 m³, en la actualidad está cubierto y la temperatura del agua se encuentra entre un rango de 20,8 °C a 23,4 °C durante el día, ver tabla 3 - 4. Este estanque no cuenta con un sistema de calentamiento, pero cuenta con un sistema oxigenación ver figura 19.

Tabla 3. *Medición de temperatura del agua en verano en el estanque*

Temperatura del agua en verano					
Fecha	Hora	T_1	T_2	T_3	T_4
23/05/2018	08:00	23,4	23,6	23,5	23,6
26/05/2018	12:00	23,6	23,7	23,6	23,7
	16:30	23,7	23,5	23,8	23,8
		T_1	T_2	T_3	T_4
11/06/2018	08:00	22,7	22,9	22,8	22,7
14/06/2018	12:00	23,2	23,4	23,3	23,3
	16:30	23,5	23,6	23,4	23,5
		T_1	T_2	T_3	T_4
15/08/2019	08:00	22,4	22,3	22,3	22,4
18/08/2019	12:00	23,2	23,1	23,3	23,4
	16:30	23,5	23,6	23,5	23,6
Promedio total para verano :					23,3 °C

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Tabla 4. *Medición de temperatura del agua en invierno en el estanque*

Temperatura del agua en invierno					
Fecha	Hora	T_1	T_2	T_3	T_4
15/12/2018	08:00	20,8	20,6	20,7	20,7
18/12/2018	12:00	20,7	20,6	20,7	20,7
	16:30	20,7	20,6	20,6	20,6
		T_1	T_2	T_3	T_4
20/12/2018	08:00	20,5	20,6	20,8	20,7
23/06/2018	12:00	20,6	20,5	20,6	20,5
	16:30	21,2	21,4	21,4	21,5
		T_1	T_2	T_3	T_4
24/12/2019	08:00	21,4	21,3	21,4	21,3
27/12/2019	12:00	21,8	21,9	21,8	21,8
	16:30	21,9	21,8	21,9	22,2
Promedio total para verano :					21,1 °C

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Figura 19. *Estanques en estudio de cultivo de tilapias con sistema BIOFLOC*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J./QUEVEDO, 2018.

4.2. Sistema de calentamiento para el estanque en estudio

4.2.1. Clima del Cantón Quevedo

Es una zona climática lluviosa subtropical, su temperatura habitual es de unos 20 a 33 °C, en la siguiente tabla 5 se encuentran detallados los parámetros climáticos mensuales.

Tabla 5. *Parámetro climático promedio de Quevedo de 2018*

MES	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. Máx. Media (°C)	28	28	30	30	30	29	30	30	30	29	29	28	29
Temp. Mín. Media (°C)	22	23	24	25	25	24	25	24	25	23	23	22	23
Precipitación total (mm)	122	106	136	139	200	216	244	259	301	316	252	170	2461
Días de lluvia (≥0.1 mm)	12	10	15	16	19	22	25	27	28	24	20	15	233

FUENTE: CLIMATE-DATA.ORG

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.2. Temperatura del agua del estanque

La temperatura del agua medida en el estanque de forma circular del cultivo de tilapias se encuentra en un rango de 21,0 a 23,28 °C acorde a las condiciones climáticas, el estanque cuenta con techado para protección del sistema BIOFLOC contra los rayos solares.

Figura 20. *Temperatura promedio del estanque de cultivo de tilapias en estudio*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J./QUEVEDO, 2018.

4.2.3. Datos del estanque en estudio

Tabla 6. *Valores del estanque en estudio*

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
D	Diámetro interno del estanque	3,86	m
r	Radio interno del estanque	1,93	m
h	Profundidad del agua	0,95	m
V_t	Volumen total de agua para el cultivo	11,12	m^3
A_l	Área lateral	11,52	m^2
A_s	Área base o superficial	11,70	m^2
S_{cerr}	Superficie de cerramiento o área de contacto con el agua	23,22	m^2

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.4. Cálculo de las pérdidas en el estanque circular del cultivo de tilapias

Tabla 7. *Propiedades físicas del agua*

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
δ	Densidad	1000	$\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
C_e	Calor Especifico	1,17	$\left(\frac{W \cdot h}{kg \cdot ^\circ C}\right)$
C_v	Calor latente de evaporización	626,94	$\left(\frac{W \cdot h}{kg}\right)$
ε	Coefficiente de emisividad del agua	0,95	%

FUENTE: YUNUS CENGEL.

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Tabla 8. *Temperaturas y humedad relativa*

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
T_o	Temperatura Ambiente	22	$^\circ C$
T_{red}	Temperatura de agua red	22,6	$^\circ C$
T_{pard}	Temperatura de pared	20	$^\circ C$
T_a	Temperatura del agua de la piscina	21	$^\circ C$
H_r	Humedad relativa	0,80	%

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Tabla 9. *Constantes y coeficientes*

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
σ	Constante de Stefan- Boltzman	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$
K	Coeficiente de transmisión de muros	1,75	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

FUENTE: JORGE M, ESTUDIANTE DE PREGRADO EN ING. FÍSICA, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.4.1. Flujo de evaporación en el área superficial

Tabla 10. *Humedad absoluta del aire saturado a diferentes temperaturas*

T_{agua} °C	°K	$\frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$
20	293,15	0,0146
21	294,15	0,0156
22	295,15	0,0166
23	296,15	0,0177
24	297,15	0,0187
25	298,15	0,02
26	299,15	0,0213
27	300,15	0,0225
28	301,15	0,024
29	302,15	0,0255
30	303,15	0,027
31	304,15	0,0285
32	305,15	0,03

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

En primer lugar se realizó el cálculo del flujo de evaporación que existe en el estanque de estudio, para esto tomaremos datos de la tabla 2 (n: número de peces, N: número de espectadores y A_s : área superficial del estanque), tabla 8 ($H_r = G_a$: humedad relativa), y la tabla 10 (Humedad absoluta del aire saturado donde W_e : Temperatura de agua 21 °C y W_a : Temperatura de agua a 22 °C).

Datos para calcular el flujo de evaporización:

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
n	Número de peces	0	-
N	Número de espectadores	2	-
A_s	Área superficial del estanque circular	11,70	m ²
$H_r = G_a$	Humedad relativa	0,80	%
W_e	Humedad absoluta a 21°C	0,0156	$\frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$
W_a	Humedad absoluta a 22°C	0,0166	$\frac{kg_{agua}}{kg_{aire}}$

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Desarrollo:

$$Me = As(16 + 133n) * (We - Ga * Wa) + 0,1 * N$$

$$Me = 11,70m^2 \left(16 + 133 \frac{0}{11,70m^2} \right) * (0,0156 - 0,8 * 0,0166) + 0,1 * 2$$

$$Me = 0,634 \frac{kg}{h} = 0,0542 \frac{kg}{h*m^2}$$

Comenzando con el cálculo con una temperatura inicial del agua de red de 21 °C con una diferencia de 1 °C, tenemos como resultado la variación del valor de flujo de evaporización por unidad de superficie es de $0,0542 \frac{kg}{h*m^2}$, en solo un grado a la temperatura establecida, se procede de aquí en adelante a considerar pérdidas de temperatura grado a grado porque las pérdidas no son constantes, utilizando datos de la tabla 10 (Humedad absoluta del aire saturado) para conocer la diferencia existenciales al incrementar la temperatura como se detalla a continuación:

Tabla 11. Cálculo de grado a grado del flujo de evaporización

T_{agua} (°C)	Flujo total ($\frac{kg}{h}$)	Flujo por unidad de superficie ($\frac{kg}{h*m^2}$)
20	0,44714932	0,0382
21	0,63438365	0,0542
22	0,82161799	0,0702
23	1,02757575	0,0878
24	1,21481009	0,1038
25	1,45821472	0,1246
26	1,70161935	0,1454
27	1,92630055	0,1646
28	2,20715205	0,1886
29	2,48800355	0,2126
30	2,76885505	0,2366
31	3,04970655	0,2606
32	3,33055806	0,2846

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Como podemos notar en la tabla 11, el cálculo grado a grado de flujo de evaporización por unidad de superficie en el estaque en estudio el incremento por cada grado tiene un promedio de $0,0208 \frac{kg}{h*m^2}$, evidenciamos que al incrementar la temperatura del agua a 32 °C, tendremos un valor de $0,2846 \frac{kg}{h*m^2}$ pérdidas por flujo de evaporización que vamos a obtener.

4.2.4.2. Pérdidas por evaporación

Las pérdidas por evaporización se hallan utilizando la ecuación 3, para este cálculo utilizaremos el valor del calor latente de vaporización (C_v), detallados en la tabla 7.

Datos para calcular las pérdidas por evaporización.

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
m_e	Calculo de flujo de evaporización	0,0542	$(\frac{kg}{h*m^2})$
C_v	Calor latente de evaporización	626,94	$(\frac{W*h}{kg})$

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

$$q_{evap} = m_e * C_v$$

$$q_{evap} = 0,0542 \frac{kg}{h * m^2} * 626,94 \frac{W * h}{kg}$$

$$q_{evap} = 33,98 \frac{W}{m^2} * 11,70m^2$$

$$q_{evap} = 397,72w$$

Considerando las mismas temperaturas del cálculo de flujo de evaporización con la diferencia de 1 °C, obtenemos un valor de pérdida por evaporización de 397,72w. Para evidenciar el comportamiento de evaporización al incrementar grado a grado se procede a calcular como se detalla a continuación:

Tabla 12. *Cálculo de grado a grado de las pérdidas de evaporización*

T_{agua} (°C)	Perdida de evaporización (W/m^2)	Perdida de evaporización (Watt)
20	23,9559	280,3358
21	33,9870	397,7205
22	44,0180	515,1052
23	55,0522	644,2283
24	65,0832	761,6130
25	78,1235	914,2131
26	91,1639	1066,8132
27	103,2011	1207,6749
28	118,2477	1383,7519
29	133,2943	1559,8289
30	148,3408	1735,9060
31	163,3874	1911,9830
32	178,4339	2088,0601

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Con el cálculo grado a grado de incremento de temperatura del agua que consta en la tabla 12, analizamos que al incrementar la temperatura hasta los 32 °C, tenemos una variación de temperatura de 11 °C tendremos un valor de pérdida por evaporización de 2088,06 W, siendo este el valor máximo de pérdida que hay que compensar para establecer un equilibrio térmico.

4.2.4.3. Pérdidas por radiación

Las pérdidas por radiación las hallamos con la ecuación 4. Utilizando los valores de área superficial (A_s) que se encuentran en la tabla 6. Para este cálculo las temperaturas deben estar en escala absoluta °K.

Los valores de emisividad (ε) de la superficie se la toma de la tabla 7, la constante de Stefan Boltzman (σ) en la tabla 9.

Datos para calcular las pérdidas por radiación.

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
A_s	Área base o superficial	11,70	m^2
σ	Constante de Stefan- Boltzman	$5,67 \cdot 10^{-8}$	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ K}$
ε	Coefficiente de emisividad del agua	0,95	%

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Desarrollo:

$$q_{rad} = A_s[\varepsilon * \sigma(T_a^4 - T_o^4)]$$

$$q_{rad} = 11,70m^2[0,95 * (5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot k})(294,15^4 - 295,15^4)k]$$

$$q_{rad} = -64,5 W$$

Realizando el cálculo con las mismas temperaturas iniciales del agua red de 21 °C y una temperatura ambiente 22 °C, obtenemos una diferencia negativa por ello el valor de respuesta de pérdida por radiación es de - 64,5 W este valor ingresa en compensación por medio de la radiación, de acuerdo a las condiciones para evidenciar el comportamiento por perdidas de radiación realizamos un cálculo de incrementado grado a grado como se detalla a continuación:

Tabla 13. *Cálculo de grado a grado de las pérdidas de radiación*

T_{agua} (°C)	Perdidas por radiación (Watt)
20	-128,3525
21	-64,5035
22	0,0000
23	65,1625
24	130,9884
25	197,4823
26	264,6486
27	332,4919
28	401,0167
29	470,2275
30	540,1289
31	610,7255
32	682,0219

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Con el cálculo grado a grado de incremento de temperatura del agua con 22 °C , obtendremos un valor de 0 debido a la diferencia de temperatura es igual 0, pero al comenzar a calcular con la temperatura del agua mayor a 22°C tenemos respuestas con valores positivos como constan en la columna de pérdidas por radiación al llegar la temperatura del agua a los 32 °C, considerando una variación de temperatura de 11 °C, tendremos un valor de pérdida por radiación de 682,02 W, siendo este el valor máximo de pérdida cuando el sistema esté en equilibrio.

4.2.4.4. Pérdidas por convección

Para hallar el valor de pérdidas por convecciones utilizaremos la ecuación 5. En el primer caso tomaremos en cuenta la temperatura del agua-ambiente. El dato del área superficial A_s , lo podemos encontrar en la tabla 6.

Lo primero que se calcula para este caso es el coeficiente de transferencia de calor por convección, de acuerdo a las condiciones que existen en el tanque en estudio:

Tabla 14. Datos para obtener el coeficiente de transferencia de calor caso aire

Símbolo	Característica	Valor	Unidades
ρ	Densidad del aire	1,3	Kg/m^3
μ	Viscosidad dinámica del aire	$1,81 \cdot 10^{-5}$	Pas
V	Velocidad del aire ciudad de Quevedo	3,19	m/s
D	Diámetro de piscina	3,86	m
Cp	Calor específico del aire	1009	J/Kg °K
k	Conductividad térmica del aire	0,02	W/m °K
A_s	Área base o superficial	11,70	m^2

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Desarrollo:

Cálculo de número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1,3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{3,19\text{m}}{\text{s}} * 3,86\text{m}}{1,81 * 10^{-5} \text{Ns/m}^2}$$

$$Re = 8,84 * 10^5$$

Cálculo de número de Prandtl:

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{1009 \text{J/Kg } ^\circ\text{K} * 1,81 * 10^{-5} \text{Ns/m}^2}{0,02 \text{W/m } ^\circ\text{K}}$$

$$Pr = 0,91$$

Cálculo de número de Nusselt:

$$Nu = 0,0296 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$Nu = 0,0296 * (8,84 * 10^5)^{0,8} * (0,91)^{0,4}$$

$$Nu = 1639,83$$

Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección par agua y aire:

$$h_{ca} = \frac{Nu * k}{D}$$

$$h_{ca} = \frac{1639,83 * 0,02}{3,86} = 8,49$$

Cálculo de diferencia de temperatura:

$$T_a - T_o : = (21 - 22)^\circ\text{C} = -1^\circ\text{C}$$

Cálculo de pérdidas por convección entre agua y aire:

$$q_{conv} = h_{ca} * A_s * (T_a - T_o)$$

$$q_{conv1} = 8,49 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 11,70 m^2 * (-1^\circ C)$$

$$q_{conv1} = -99,35 W$$

Debido a que realizamos los cálculos con las mismas temperaturas iniciales del agua red de 21 °C y una temperatura ambiente 22 °C, obtenemos una diferencia negativa por ello el valor de respuesta de pérdidas por convección inicial es de – 99,35 W este valor ingresa en compensación por medio de la convección, con el cálculo de incremento de grado a grado podemos evidenciar el comportamiento entre la temperatura de agua y el aire como se detalla a continuación:

Tabla 15. *Cálculo grado a grado de pérdidas por convección (agua – aire).*

T_{agua} (°C)	$T_{agua} T_{amb}$	Perdida por convección (Watt)
20	-2	-198,7024
21	-1	-99,3512
22	0	0,0000
23	1	99,3512
24	2	198,7024
25	3	298,0537
26	4	397,4049
27	5	496,7561
28	6	596,1073
29	7	695,4585
30	8	794,8097
31	9	894,1610
32	10	993,5122

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Con el cálculo grado a grado podemos evidenciar en la tabla 15, que en los dos primeros casos tenemos respuestas negativas debido a que el ambiente está aportando al agua, pero cuando superamos los 22 °C, tendremos valores positivos. Cuando llegamos a temperatura de agua de 32 °C, considerando una variación de temperatura de 11 °C tendremos un valor de pérdida por convección entre agua y aire de 993,5 W.

Para el segundo caso se realiza el cálculo con las temperaturas de agua - pared. Para este caso es el coeficiente de transferencia de calor por convección calculado a continuación:

Datos:

Tabla 16. *Datos para determinar el coeficiente de transferencia de calor caso agua*

Símbolo	Característica	Valor	Unidades
ρ	Densidad del agua	1000	Kg/m ³
μ	Viscosidad dinámica del agua	1	Pas
V	Velocidad del agua en el estanque	0,01	m/s
D	Diámetro de piscina	3,86	m
Cp	Calor específico del agua	4180	J/Kg °K
k	Conductividad térmica del agua	0,59	W/m °K

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Desarrollo:

Cálculo de número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho * V * D}{\mu}$$

$$Re = \frac{1000 \frac{Kg}{m^3} * \frac{0,01m}{s} * 3,86m}{1 \text{ }Ns/m^2}$$

$$Re = 38,6$$

Cálculo de número de Prandtl:

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

$$Pr = \frac{4180J/Kg \text{ }^{\circ}K * 1Ns/m^2}{0,59W/m \text{ }^{\circ}K}$$

$$Pr = 7084,74$$

Cálculo de número de Nusselt:

$$Nu = 0,0296 * Re^{0,8} * Pr^{0,4}$$

$$Nu = 0,0296 * (38,6 * 10^6)^{0,8} * (7084,74)^{0,4}$$

$$Nu = 19,08$$

Cálculo de coeficiente de transferencia de calor por convección para agua y pared:

$$h_{ca} = \frac{Nu * k}{D}$$

$$h_{ca} = \frac{19,08 * 0,59}{3,86}$$

$$h_{ca} = 2,91$$

Cálculo diferencia de temperatura:

$$T_a - T_{pared} = (21 - 20)^{\circ}C = 1^{\circ}C$$

Cálculo de pérdidas por convección entre agua y pared:

$$q_{conv2} = h_{ca} * A_s * (T_a - T_{pared})$$

$$q_{conv2} = 2,91 \frac{W}{m^2 * ^{\circ}C} * 23,22 m^2 * (1^{\circ}C)$$

$$q_{conv2} = 67,57 W$$

Realizando el cálculo con las mismas temperaturas iniciales considerado que existe solo la variación de 1 °C, del cálculo obtenemos un valor de 67,57 W, para evidenciar el comportamiento de convección entre el agua y la pared al incrementar grado a grado se procede a calcular como se detalla a continuación:

Tabla 17. *Cálculo grado a grado de pérdidas por convección (agua – pared)*

T_{agua} (°C)	T_{agua} T_{pared}	Perdida por convección (Watt)
20	0	0
21	1	67,5772
22	2	135,1543
23	3	202,7315
24	4	270,3087
25	5	337,8858
26	6	405,4630
27	7	473,0401
28	8	540,6173
29	9	608,1945
30	10	675,7716
31	11	743,3488
32	12	810,9260

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Con el cálculo de incremento grado a grado podemos evidenciar en la tabla 17, al alcanzar la temperatura del agua a 32 °C con una diferencia de 11 °C obtenemos un valor máximo de pérdida por convección de agua y pared de 810,92 W.

Una vez de haber realizado el cálculo por separado las pérdidas por convección entre aire y pared se procede hacer la sumatoria de pérdidas total por convección de tallada a continuación:

Desarrollo:

$$q_{convtotal} = q_{conv1} + q_{conv2}$$

$$q_{convtotal} = -99,35 + 67,57$$

$$q_{convtotal} = -31,78 \text{ W}$$

Realizamos la suma de las dos convecciones dando como resultado un valor de $-31,78$, este valor es negativo debido a que estos cálculos se los realiza con las temperaturas iniciales de agua, aire y pared, por ello procedemos a realizar el sumatorio grado a grado como se detalla a continuación:

Tabla 18. *Calculo grado a grado de pérdidas totales de convección*

T_{agua} (°C)	Pérdidas de agua-aire (Watt)	Pérdidas de agua-pared (Watt)	Pérdidas totales de convección (Watt)
20	-198,7024	0	-198,7024
21	-99,3512	67,5772	-31,7741
22	0,0000	135,1543	135,1543
23	99,3512	202,7315	302,0827
24	198,7024	270,3087	469,0111
25	298,0537	337,8858	635,9395
26	397,4049	405,4630	802,8679
27	496,7561	473,0401	969,7962
28	596,1073	540,6173	1136,7246
29	695,4585	608,1945	1303,6530
30	794,8097	675,7716	1470,5814
31	894,1610	743,3488	1637,5098
32	993,5122	810,9260	1804,4381

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Con el cálculo grado a grado de incremento de temperatura del agua evidenciamos en la tabla 18, al llegar a la temperatura ideal del sistema de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ tenemos una variación de temperatura de 11°C dándonos como resultados de pérdidas total de convección de $1804,44\text{ W}$, que es valor máximo de pérdida cuando el sistema esté en equilibrio.

4.2.4.5. Pérdidas por conducción

Para hallar el valor de pérdidas por conducción utilizaremos la ecuación 9. Tomaremos el valor de área total (S_{cerr}) de contacto el mismo que se encuentra en la tabla 6, además el valor del coeficiente de transmisión de muros (K) lo podemos encontrar en la tabla 9.

Datos para hallar las pérdidas por conducción.

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
S_{cerr}	Superficie de cerramiento o área de contacto con el agua	23,22	m^2
K	Coeficiente de transmisión de muros	1,75	$\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Desarrollo:

$$q_{cond} = S_{cerr} * K * (T_a - T_{paredes})$$

$$q_{cond} = 23,22m^2 * 1,75 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * (21 - 20)^\circ C$$

$$q_{cond} = 40,63 W$$

Como en todos los casos de pérdidas se procedió a calcular con las temperaturas iniciales, obteniendo un valor de perdida por conducción de 40,63 W, se procederá a calcular grado a grado para evidenciar el comportamiento como se detalla a continuación:

Tabla 19. Cálculo grado a grado de pérdidas por conducción

T_{agua} (°C)	Pérdidas por conducción (Watt)
20	0
21	40,6392
22	81,2784
23	121,9176
24	162,5568
25	203,1959
26	243,8351
27	284,4743
28	325,1135
29	365,7527
30	406,3919
31	447,0311
32	487,6702

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Como podemos notar en la tabla 19, observando que al incrementar la temperatura del agua a los 32 °C que es lo ideal, tendremos una variación de 11 °C de temperatura llegando a un valor de pérdida por conducción total de 487,67 W, siendo este el valor máximo que debemos compensar para establecer un equilibrio térmico.

4.2.4.6. Pérdidas totales en la piscina

Luego de haber hallado todas las pérdidas en el estanque de estudio, realizamos la sumatoria de todas para obtener el valor total de pérdidas.

Desarrollo:

$$Q_{sale} = q_{evap} + q_{rad} + q_{conv} + q_{cond}$$

$$Q_{sale} = (397,72 - 64,5 - 31,78 + 39,56)^\circ C$$

$$Q_{sale} = 342 \text{ W}$$

Considerando las temperaturas iniciales como en todos los cálculos de pérdida anterior tenemos una diferencia de 1 °C, por ello en este caso tenemos un valor de 342 W que representa la pérdida total que sale del estanque de estudio para analizar la variación que existe calculamos grado a grado como se detalla a continuación:

Tabla 20. Pérdida total del estanque en estudio

T_{agua} (°C)	Q_{sale} (watt)
20	-46,7192
21	342,0821
22	731,5379
23	1133,3911
24	1524,1693
25	1950,8309
26	2378,1649
27	2794,4373
28	3246,6067
29	3699,4622
30	4153,0082
31	4607,2494
32	5062,1904

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Mediante la tabla 20, considerando que al alcanzar una temperatura de 32 °C que es la ideal, hay una variación de temperatura de 11 °C en ese momento tendremos un valor de pérdida total que salen del estanque en estudio de 5062,19 W, siendo este el valor máximo que debemos compensar para establecer un equilibrio térmico.

4.2.4.7. Potencia Necesaria

Con la información proporciona por el Coordinador de la red de investigación y desarrollo de producciones en Acuicultura de la UTEQ, Jorge Rodríguez, PhD nos mencionó dos condiciones fundamentales que se debe considerar en todo momento, ya que depende de las condiciones climáticas que facilite el medio ambiente detallas a continuación:

- La primera condición es que no se debe incrementar drásticamente la temperatura del agua, la alteración debe ser de 1 °C en un tiempo mínimo de 30 minutos y máximo de 60 minutos.
- La segunda condición es establecer un rango de temperatura donde solo debe existir una variación de 2 - 4 °C, considerando que mediante estudios se ha comprobado que la tilapia puede soportar temperatura hasta de 40 °C, nos recomienda establecer un rango temperatura 30 - 32 °C, de esta manera se generara un ambiente de confort para las tilapias rojas.

Datos:

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
T_{req}	Temperatura requerida	32	°C
T	Horas establecidas	5	h
V_t	Volumen total de agua	11,12	m^3
δ	Densidad	1000	(kg/m^3)
T_{red}	Tempera agua red	21	°C

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Desarrollo:

$$Q_{util} = \frac{V_t * \delta * Ce * (T_{req} - T_{red})}{t}$$

$$Q_{util} = \frac{11,12 m^3 * 1000 \frac{kg}{m^3} * 1,17 \frac{Wh}{kg^{\circ}C} * (32 - 21)^{\circ}C}{5h}$$

$$Q_{util} = 28615,26 W$$

Analizando el cálculo de potencia útil consideramos la temperatura de agua de red que es la del estaque de 21 °C y temperatura del agua requerida de 32 °C, tomado en cuenta que hay una diferencia de 11 °C y una estimación de tiempo de 5 horas basándonos en la primera condición, necesitamos una potencia máxima de 28615,26 W para establecer el equilibrio térmico a la temperatura ideal.

Analizando los resultados obtenidos de potencia útil de 28615,26 W, optamos por proporcionar esta potencia por medio de resistencias eléctricas tubulares sumergibles de una capacidad de 4.500 W, de 230 VAC que son comerciales en el mercado nacional, usando 6 resistencias de este tipo generamos una capacidad total de 27.000 W para no sobredimensionar el sistema, procedemos hacer un cálculo de potencia de entrada como la que se detalla a continuación:

$$Q_{ganan} = Q_{util} - Q_{sale}$$

$$Q_{ganan} = (27000 - 342) W$$

$$Q_{ganan} = 26657,91 W$$

Analizando el cálculo debemos considerar que esta entrada de energía se suministrará al tener una temperatura de agua de 21 °C, por ello tenemos un valor de 26657,91 W que es el valor máximo de entrada al sistema, para evidenciar el comportamiento al incrementar la temperatura calculamos grado a grado y lo detallamos a continuación:

Tabla 21. *Cálculo grado a grado de calor de ganancia y tiempo estimado*

T_{agua} (°C)	Q_{entra} (watt)	Q_{sale} (watt)	E_{int} (watt)	t (horas)
20	27000	-46,7192	27046,7192	0,301
21	27000	342,0821	26657,9179	0,305
22	27000	731,5379	26268,4621	0,309
23	27000	1133,3911	25866,6089	0,314
24	27000	1524,1693	25475,8307	0,319
25	27000	1950,8309	25049,1691	0,325
26	27000	2378,1649	24621,8351	0,330
27	27000	2794,4373	24205,5627	0,336
28	27000	3246,6067	23753,3933	0,342
29	27000	3699,4622	23300,5378	0,349
30	27000	4153,0082	22846,9918	0,356
31	27000	4607,2494	22392,7506	0,363
32	27000	5062,1904	21937,8096	0,371
Tiempo calculado (h)				4,32

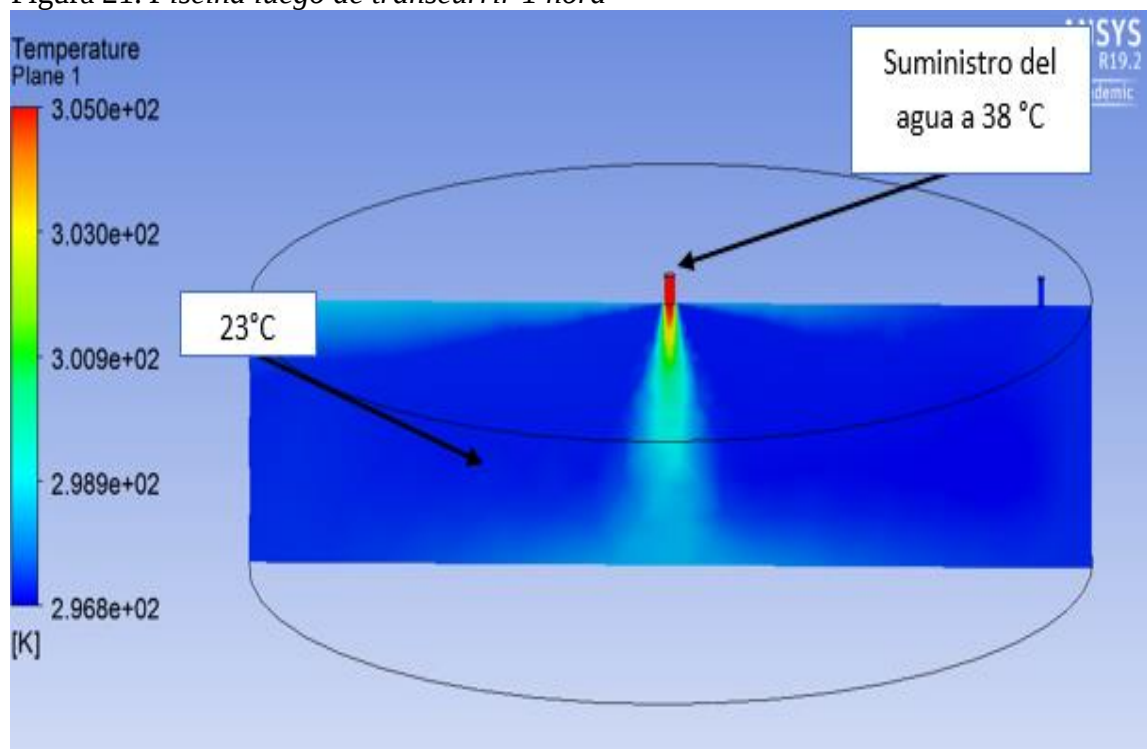
ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Observando los resultados de la tabla 21, consideramos una potencia de entrada constante de 27000 W donde restamos el valor de pérdida total de calor de cada grado que esta detallado en la columna de (Q_{sale}), obteniendo como resultados la energía internan generada directamente en el sistema que esta detallado en la columna (E_{int}) para cada grado incrementado de la tempera de agua, además con la misma fórmula que calculamos la potencia útil despejamos para calcular el tiempo que como resultados nos da un promedio de 33 minutos en calentar cada grado, para alcanzar la temperatura ideal de 32 °C mediante el cálculo estimamos un tiempo de 4:32 $\approx$ 5 horas para que el sistema logre el equilibrio térmico y ambiente de confort para la tilapia roja.

4.2.5. Simulación básica en Ansys del estaque en estudio

El análisis de simulación del comportamiento del agua al incrementar la temperatura se lo realizó con condiciones de iniciales y una temperatura inicial del agua de 21 °C, con un suministro de agua por el sistema térmico industrial a 38 °C. Como podemos ver en la figura 21, al transcurrir un tiempo de 1 hora se evidencia en la piscina tiene un incremento de 2°C que se distribuye en toda el agua generando una temperatura de 23°C.

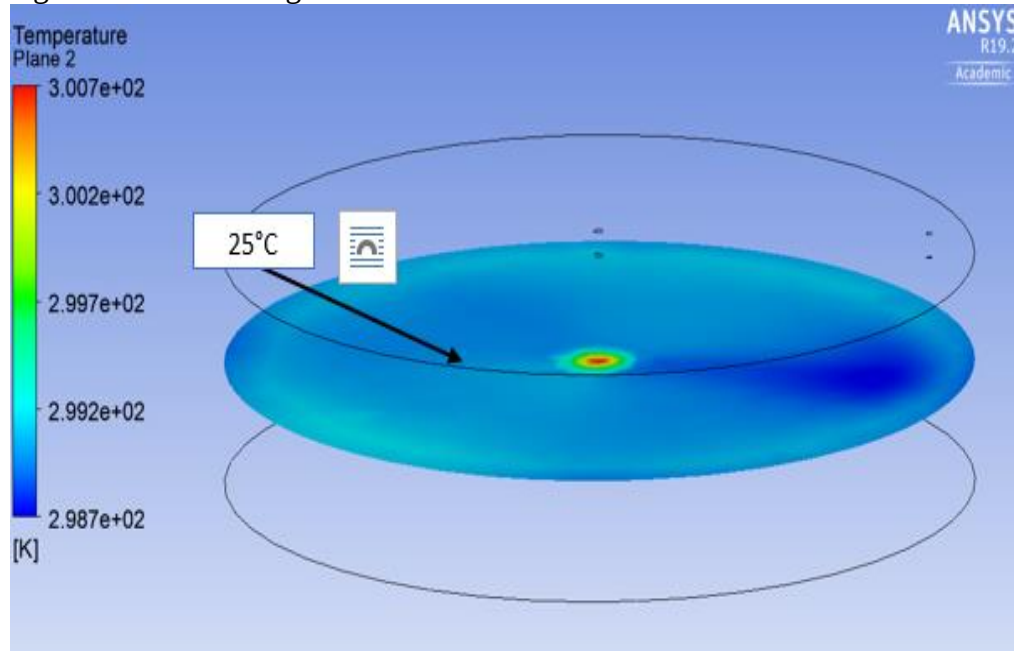
Figura 21. Piscina luego de transcurrir 1 hora



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

Analizando la figura 22, luego de transcurrir 2 horas en la parte céntrica de la piscina evidenciamos un incremento de la temperatura 4°C que se distribuye en toda el agua generando una temperatura de agua de 25 °C

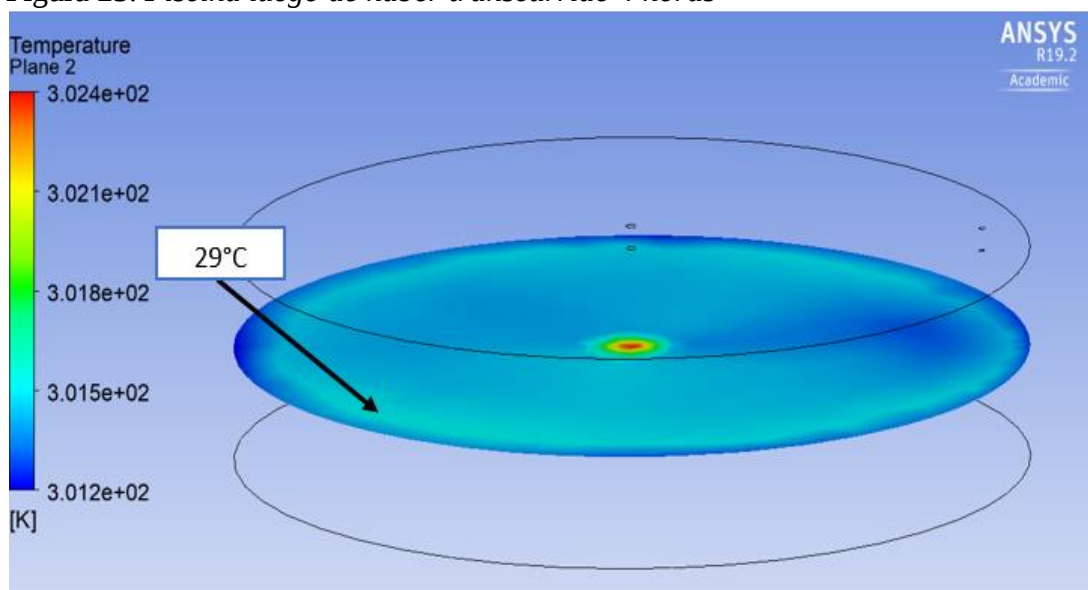
Figura 22. Piscina luego de transcurrir 2 horas.



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

En la figura 23 podemos apreciar luego de haber transcurrido un tiempo de 4 horas tenemos un incremento de temperatura de 8 °C, generando una temperatura de 29 °C en toda el agua.

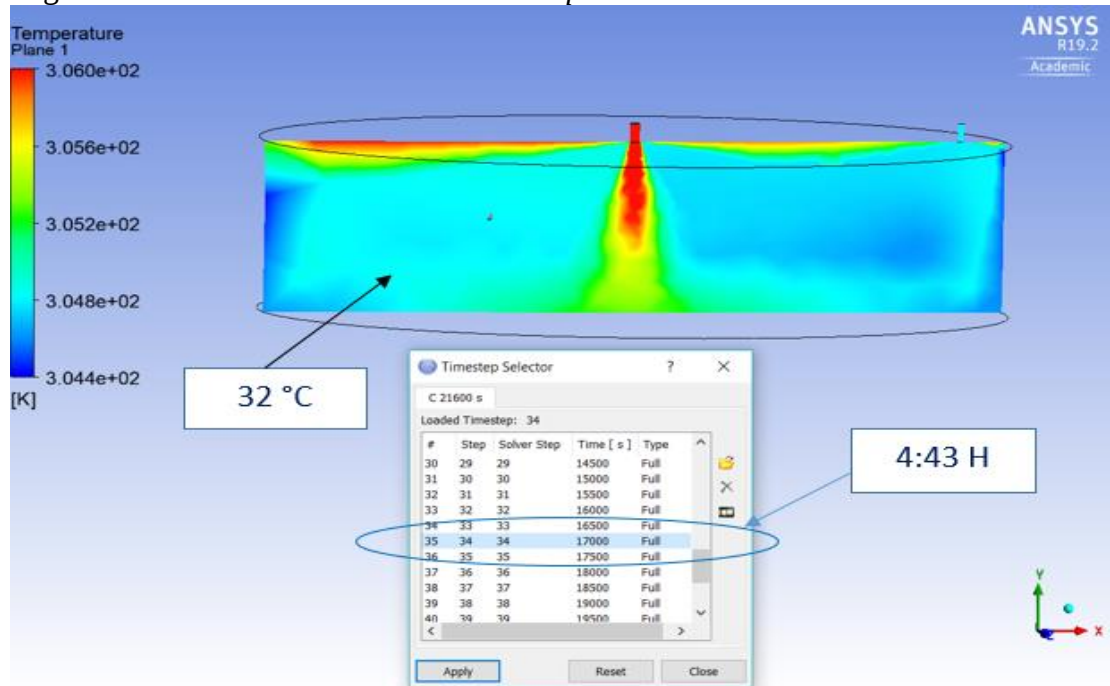
Figura 23. Piscina luego de haber transcurrido 4 horas



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

En la figura 24, podemos evidenciar que al transcurrir un tiempo de 17000 s $\approx$ 4:43 horas evidenciamos un incremento de temperatura 11°C, alcanzado el equilibrio térmico ideal en toda la piscina generando una temperatura del agua de 32°C.

Figura 24. *Piscina cuando se alcanza el equilibrio térmico*



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.6. Bomba requerida

4.2.6.1. Ecuación de Bernoulli

Tabla 22. *Factores y datos para hallar la potencia*

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
g	Gravedad	9,81	m/s^2
D	Diámetro de tubería	0,0254	m
π	Pi	3,1416	-
μ	Viscosidad dinámica del agua	$1,00 \cdot 10^{-3}$	Pa*s
ξ	Rugosidad en los tubos	0,0015	mm
ρ	Densidad del agua	1000	Kg/m^3
n	Eficiencia de bomba	0,75	-

FUENTE: ROBERT MOTT, MECÁNICA DE FLUIDOS

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{g} + h_B = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{g} + h_{f1-3}$$

$$h_B = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_{f1-3}$$

$$h_3 = \text{altura de magera de succion(m)}$$

$$h_3 = 6,15 \text{ m}$$

El caudal es un valor de partida para realizar los cálculos.

$$120 \frac{lt}{min} * \frac{1m^3}{1.000lt} * \frac{1min}{60s} = 2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$v_3 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi * D^2}$$

Hallamos la velocidad con la que ingresa el fluido por la tubería hacia el tanque de calentamiento.

$$v_3 = \frac{4Q}{\pi * D^2} = \frac{4 * 0,002}{3,1416 * 0,0254^2} = \frac{3,94 \text{ m}}{s}$$

$$h_{f1-3} = \frac{v_3^2}{2g} \left[F \frac{L}{D} + \Sigma K_c + K_v \right]$$

Longitud de succión

$$L_s = (0,89 + 1,05 + 4,20) \text{ m}$$

$$L_s = 6,15 \text{ m}$$

Longitud de descarga

$$L_d = (0,46 + 0,32 + 4,30) \text{ m}$$

$$L_d = 5,08 \text{ m}$$

Valor de F

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu} \qquad \frac{\xi}{D}$$

$$Re > 4000 \dots \text{Turbulento} \Rightarrow F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left[\frac{\xi}{3,7D} + \frac{1,74}{Re^{0,9}} \right] \right\}^2}$$

$$Re > 2000 \dots \text{Laminal} \Rightarrow F = \frac{64}{Re}$$

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{v_3 D \rho}{\mu} = \frac{3,94 \frac{m}{s} * 0,0254 m * 1000 kg/m^3}{1,005 * 10^{-3} Pa * s} = 99578,10$$

$$\frac{\xi}{D} = \frac{0,0015 mm}{25,4 mm} = 5,90 * 10^{-5}$$

Posteriormente hallamos el valor del factor de pérdidas en la parte de la succión.

$$F = \frac{1,325}{\left\{ -\ln \left[\frac{\xi}{3,7D} + \frac{1,74}{Re 0,9} \right] \right\}^2}$$

$$F = \frac{1,325}{\left[-\ln \left(\frac{0,0015}{3,7 * 0,0254} \right) + \frac{5,74}{(99578,10 * 0,9)} \right]^2} = 0,0182193$$

Dándonos un resultado de perdidas primarias y secundarias en la tubería de succión.

$$h_{f1-3} = \frac{v_3^2}{2g} \left[F \frac{L}{D} + \sum K_c + K_v \right]$$

$$h_{f1-3} = \frac{3,94^2}{2(9,81)} \left[0,0182193 \frac{11,23}{0,0254} + 2 * 0,90 + 1 * 1 + 1 * 2,5 \right]$$

$$h_{f1-3} = 7,711 m$$

La altura a la salida se la encuentra mediante la ecuación:

$$h_B = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + h_{f1-3}$$

$$h_B = 2,99 m + \frac{(3,94 m/s)^2}{2 \left(\frac{9,81 m}{s^2} \right)} + 7,711 m$$

$$h_B = 11,49 m$$

Potencia necesaria para succionar el agua del estanque.

$$P = \frac{Q * \rho * g * h_B}{746 * n}$$

$$P = \frac{0,002 \frac{m^3}{s} * \frac{1000 kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s^2} * 11,49 m}{746 * 0,75}$$

$$P = 0,40 HP$$

La bomba que se seleccionará es una de 0,5 HP, se debe a que son medidas comerciales.

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$t = \frac{V}{Q}$$

$$t = \frac{0,5 m^3}{0,002 \frac{m^3}{s}} = 250 s$$

$$t = 250 s * \frac{1 min}{60 s}$$

$$t = 4,16 min$$

El tiempo de llenado del tanque desde el agua del estanque en estudio nos da un valor de 4,16 $\approx$ 5 minutos un obteniendo un volumen de 400 litros de agua.

4.2.7. Tiempo de descarga

Tabla 23. *Datos del calentador eléctrico*

Símbolo	Característica	Valor	Unidad
D_t	Diámetro del tanque de deposito	0,90	m
D_a	Diámetro del agujero del tanque de deposito	0,0254	m
h_{dep}	Altura del tanque de deposito	0,060	m
g	Gravedad	9,81	m/s^2

ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

El tiempo de descarga para el vaciado de todo el líquido lo podemos hallar de la siguiente manera, tomando los datos que se encuentran en la tabla 23.

$$t = \left(\frac{D_t}{D_a} \right)^2 * \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t = \frac{(0,90m)^2}{(0.0254)^2} \sqrt{\frac{2 * 0.060m}{9,81m/s^2}}$$

$$t = 1255,5025 * 0,1106002527$$

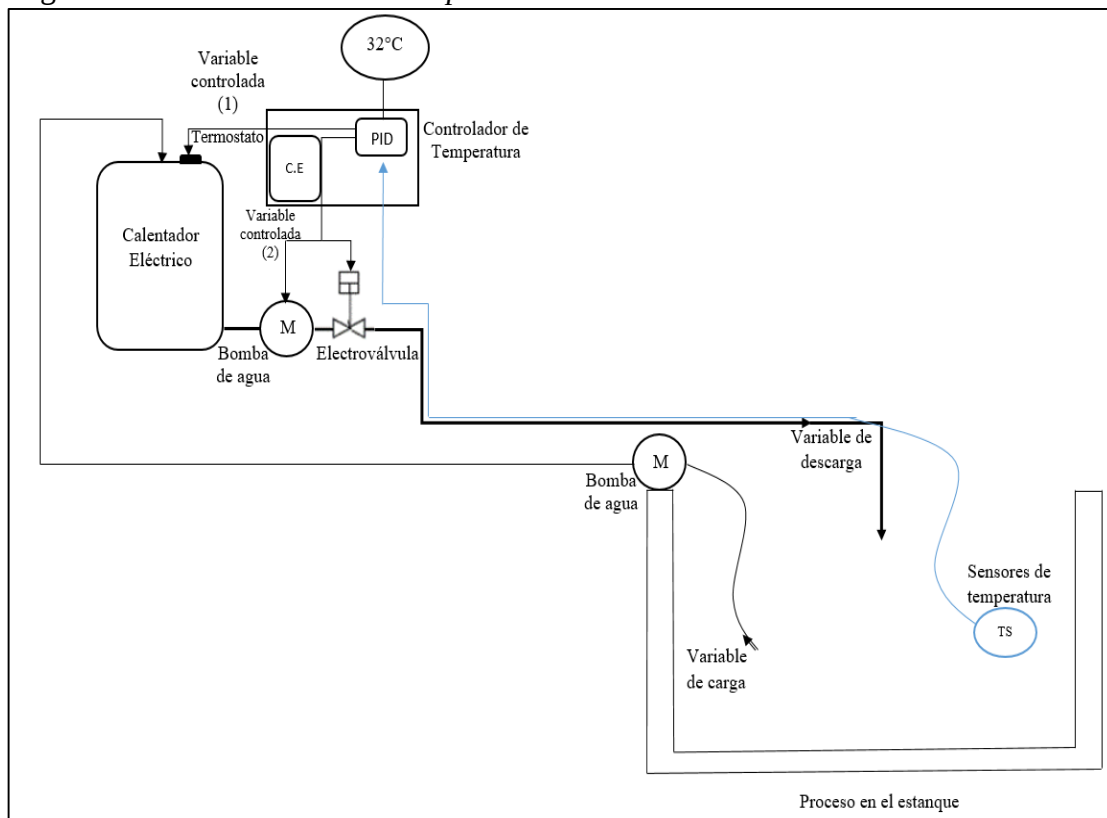
$$t = 138,85 s * \frac{1 min}{60 s}$$

$$t = 2,31 min$$

4.2.8. Diseño del sistema de control de proceso de temperatura del agua y del motor generador

4.2.8.1. Diseño básico del sistema de control para el proceso de temperatura.

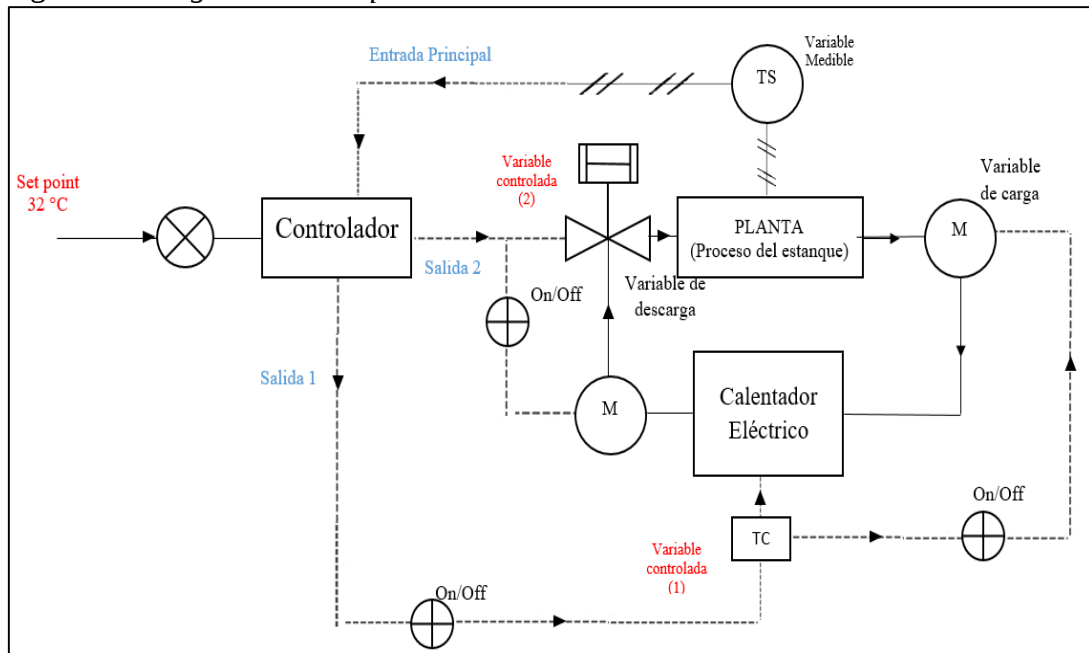
Figura 25. Sistema de control del proceso



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.8.1.1. Diagrama de bloques del sistema de control para el proceso de temperatura

Figura 26. Diagrama de bloques del sistema de control

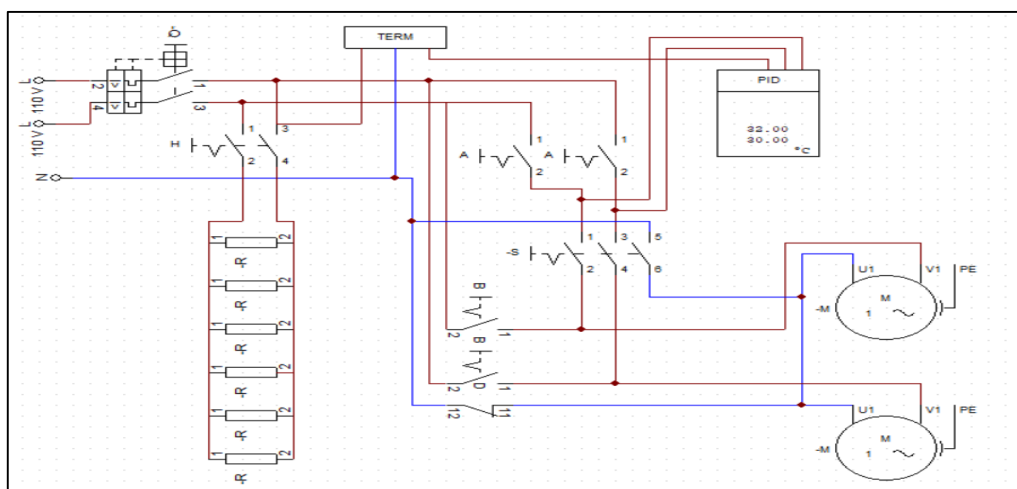


ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.9. Esquema del sistema eléctrico de motor generador y el sistema de calentamiento.

En la figura 27, podemos observar el circuito eléctrico de para el sistema de calentamiento mediante resistencias.

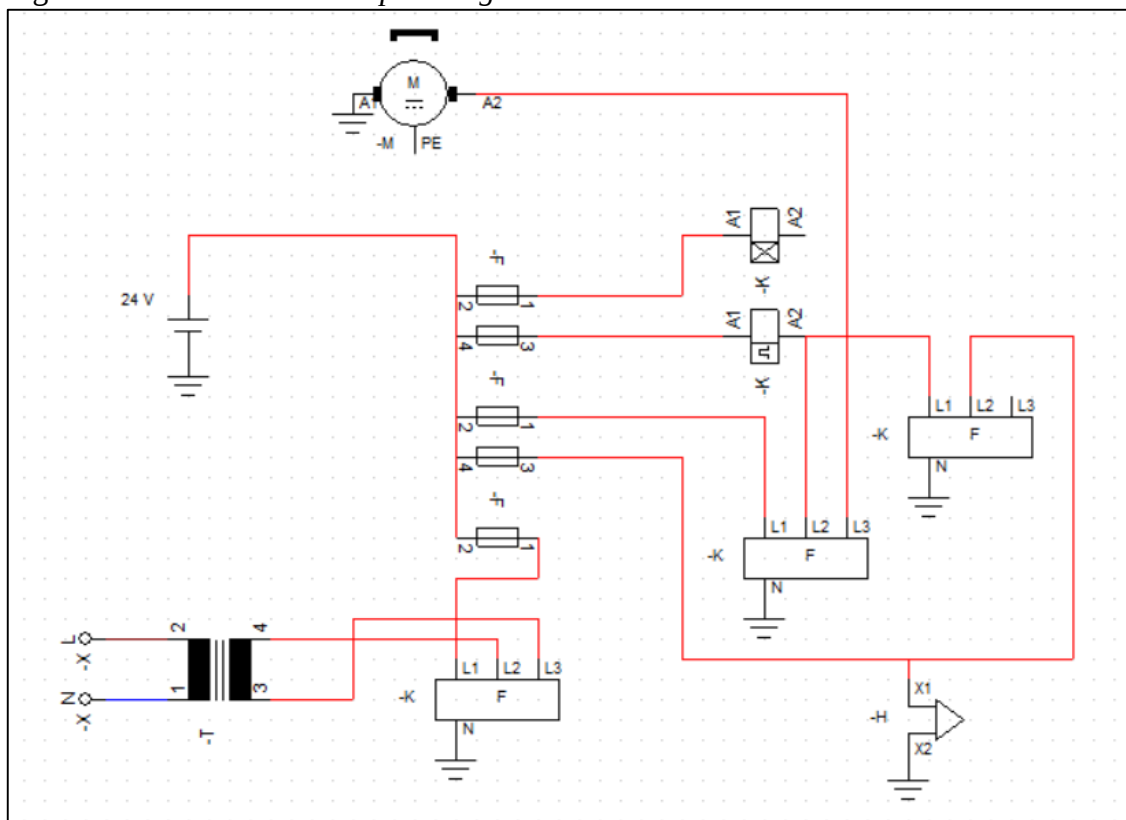
Figura 27. Circuito eléctrico del sistema de calentamiento



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

A continuación, en la figura 28, podemos observar el circuito eléctrico instalado en el motor generador, que permite el funcionamiento del mismo cuando no haya presencia de energía eléctrica.

Figura 28. Circuito eléctrico para el generador



ELABORADO: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.10. Selección de materiales y equipos para desarrollar el prototipo

4.2.10.1. Selección de Controlador de temperatura

Analizando los diferentes controladores de temperatura que existen en el mercado nacional, se opta por el Controlador de temperatura AUTONICS, modelo TCN4S-24R el que se observa en la figura 29, cuenta con doble Display que permite visualizar la temperatura actual y temperatura de ajuste establecida, cuenta con una alimentación de [110 – 240 VAC - 50/60 Hz], rango de voltaje permitido máximo de 5V, consta con dos tipos de entradas RTD de dos tipos DPt100 - Cu50 y Termocuplas ideales para el trabajo con sensores de temperatura, ya que nuestro sistema depende de la buena recepción de la temperatura del agua para establecer valor de compensación por medio del controlador.

Una salida de control de RELEVADOR (250 VAC/ 3A – 1A) y SSR (12VDC $\pm$ 2V), además tiene un método de control ideal para control de temperatura como ON/OFF, permite obtener del PID en menos de un segundo, cuenta con una retención de memoria de configuración de 10 años, cuenta con un sistema básico y sencillo de configuración cuenta con dos entradas ideales para la lectura del sensor de temperatura y cuatro salidas donde podemos controlar las resistencias eléctricas, bombas de agua y electroválvula.

Figura 29. Controlador PID TCN4s



FUENTE: AUTONOCIS.

4.2.10.2. Selección de resistencias eléctricas

Luego de analizar los cálculos de pérdidas de calor detallados “la parte 4.2.4.7” obtenemos un valor 27.000 W, por ellos en el mercado nacional existen resistencias eléctricas tubular de una capacidad de 4.500 W, de 230VAC, con tapón macho roscado de 1 pulgada de diámetro y una longitud de inmersión de 27 cm.

Este tipo de resistencia por inmersión está creado para el calentamiento en contacto directo con cualquier tipo de fluido en nuestro caso el agua, el calor generado dentro del agua, consigue una utilidad energética máxima. Además, este tipo de resistencia es fácil de acoplarse en tanques mediante tapón roscado y todo su recubrimiento es de acero inoxidable ideales para proceso industriales con una presión de trabajo superior a 40 bares. Para lograr superar las pérdidas que existen en el estanque se adquirió 6 resistencias de 4.500W sumando una capacidad de 27.000W.

Figura 30. Resistencia por inmersión



FUENTE: CAMCO

4.2.10.3. Selección de sensor de temperatura

Analizando los tipos de sensores de temperatura, necesitamos un sensor por inmersión por ello el más utilizado en para este tipo de procesos es el sensor de temperatura RTD, de tipo PT-100, marca AUTONICS con un rango de lectura de temperatura de 0 – 200°C.

Tiene un recubrimiento de acero inoxidable, de su diámetro de bulbo es de 4,76mm y una longitud de 5mm, con un recubrimiento de su cable de fibra de vidrio enmallada. Además, es compatible con el controlador y cumple todo el requerimiento para nuestro proceso de control de temperatura con un porcentaje mínimo de error en su lectura.

Figura 31. Sensor Pt100

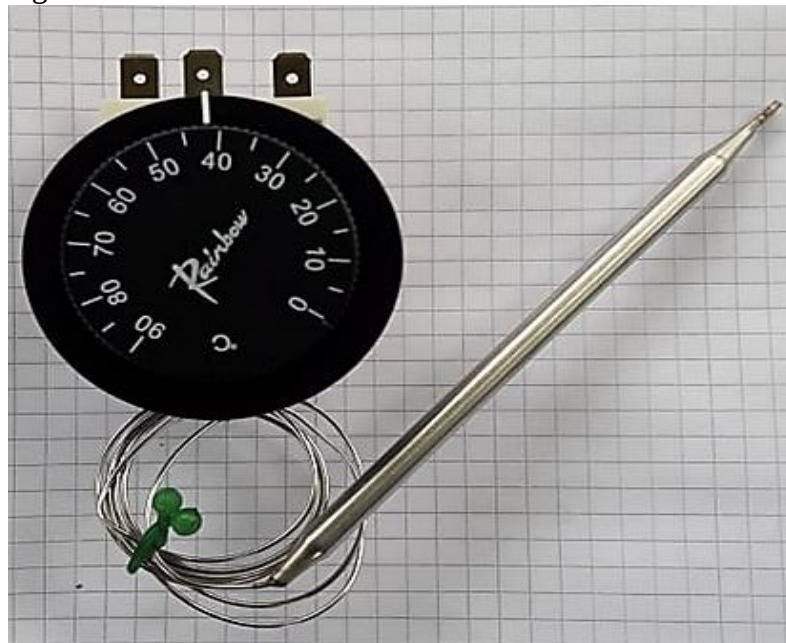


FUENTE: CAMCO

4.2.10.4. Selección de termostato

Analizando el tipo de funcionamiento independiente con el que trabajarán las resistencias eléctricas, serán controladas por medio de un termostato de propósito general marca RAINBOW, modelo 7190, con un rango de temperatura de (0-90) °C, con una precisión de $\pm 4^{\circ}\text{C}$, con una salida común de SPDT (NA+NC), ya que el temperatura máxima del agua dentro del calentador estimada es de 50 °C.

Figura 32. Termostato RAINBOW



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.10.5. Electroválvula

La electroválvula se la seleccionó en base a la tubería de descarga que es de 2 pulgadas, pero debido a que en el mercado ecuatoriano no es comercial en esa medida, se opta por comprar una electroválvula de 1 pulgada marca: EBCHQ, modelo: 91179, con una presión de trabado de 7 – 217 Psi y de sistema cerrado, está ubicada en la salida principal de descarga de agua del calentador, su sistema de trabajo es cerrado debido a que retiene todo el agua y solo se abre cuando recibe la señal del controlador compensando el agua directamente al estaque de cultivo de tilapias.

Figura 33. *Electroválvula EBCHQ*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.10.6. Contactor para resistencia eléctrica

Luego de analizar los diferentes tipos de contactores, se elige el contactor marca: SIEMENS, rango: SIRIUS innovación, modelo: 3RT2035 – 1AN20, tensión nominal de contacto: 600 V, numero de polos: 3, corriente nominal de contacto de 150 A, tensión de la bobina: 220 V, tipo de terminal: roscado y con una temperatura de funcionamiento máximo de +60 °C, este modelo de contactor es ideal para controlar el encendido y apagado de las 6 resistencia eléctrica que juntas generan una corriente nominal de 120 A y trabaja a un voltaje de 220 V al igual que las resistencia.

Figura 34. *Contactor Siemens*

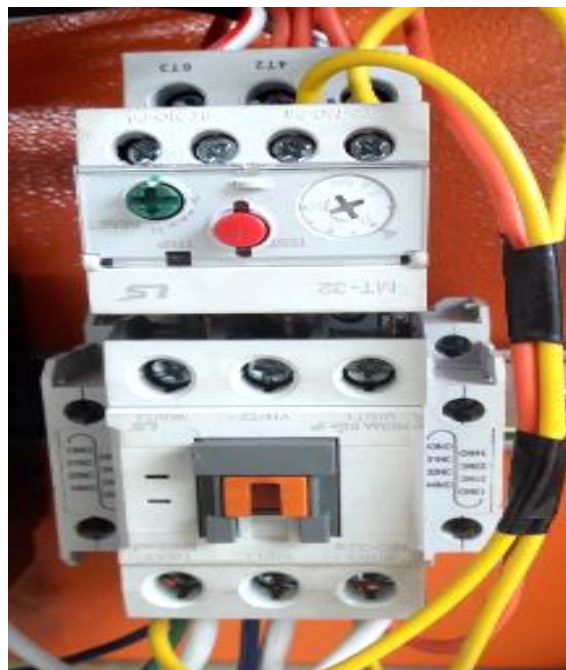


FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.10.7. Contactor sistema de carga y descarga

Analizando diferentes tipos de contactores, se elige el contactor marca: LS, modelo: MC-32a, tensión nominal de contacto: 240 V, numero de polos: 3, corriente nominal de contacto de 32 A, tensión de la bobina: 110 V, tipo de terminal: roscado y con una temperatura de funcionamiento máximo de +50 °C, este modelo de contactor es ideal para controlar el sistema de carga y descarga que está conformado por una electroválvula y dos bombas de agua de ½ HP, que juntas generan una corriente nominal de 10 A y trabaja a un voltaje de 110 V al igual los equipos del sistema.

Figura 35. *Contactor LS*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.10.8. Breaker

Considerando el breaker ideal de la entrada principal que donde se proporcionará la energía para todo el sistema térmico industrial se opta por el breaker de marca: General Electric, modelo: TQD22150, con una corriente nominal de contacto de 150 A, entrada y salida: 2 polos, tensión de bobina 240 V, tipo de terminal: roscado y con una tempera de funcionamiento máximo de 40 °C, la capacidad de este breaker es la ideal debido a que todo el sistema va estar conectado generado una corriente nominal de aproximadamente 130 A.

Figura 36. *Breaker General Electric*

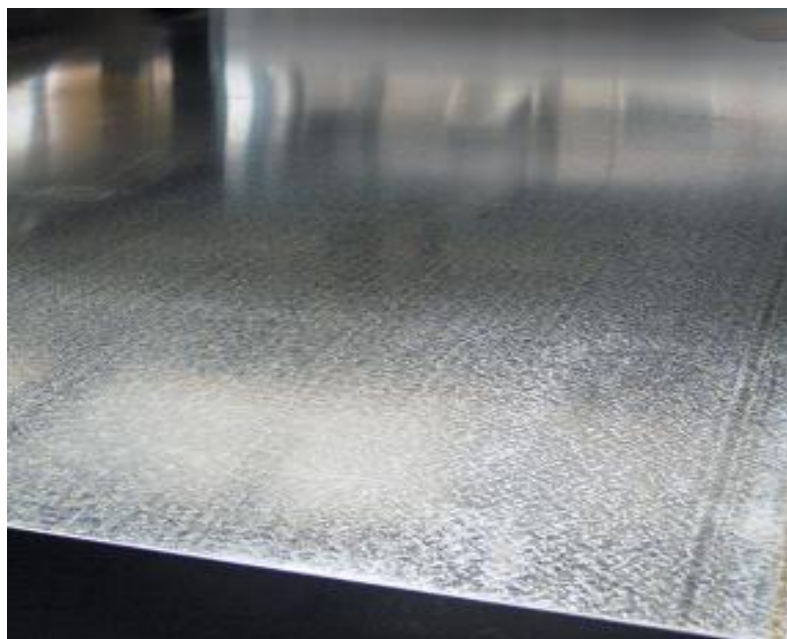


FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J.

4.2.10.9. **Lamina de acero Galvanizado**

Se escogió una plancha de acero recubierta con zinc, se la utiliza en la industria de refrigeración, construcción, automotriz y metal metalmecánica, debido a que ofrece una alta resistencia a la corrosión y una extensa duración. Son fabricadas de acuerdo a la norma NTE INEN 115, con la calidad de la ASTM A653, utilizada para la construcción del calentador eléctrico.

Figura 37. *Láminas de acero galvanizado*



FUENTE: DIPAC.

4.3. Construcción del sistema térmico industrial

El proyecto de investigación, se realiza en un estanque de concreto como podemos observar en la figura 38. Lo principal fue la toma de mediciones de temperatura del agua durante varios meses, obteniendo como resultado una temperatura promedio de 21°C, la misma que no es óptima para el proceso de producción de esta especie.

Luego de haber realizado la toma de mediciones, se procedió a realizar los cálculos pertinentes a este estudio. Luego realizar la compra de materiales para la construcción del prototipo.

Figura 38. *Estanque circular de estudio*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J., 2018

Se realizó una limpieza de toda la zona porque se hallaba con maleza, impidiendo realizar los trabajos. Posteriormente montar el techado que cubre el prototipo, además se realizaron trabajos civiles de construcción como podemos ver en la figura 39.

Figura 39. *Base para instalación y techado*



FUENTE: ESPIN P. J., JURADO O. J., 2019.

La construcción del tanque para el calentamiento de agua se lo realizó con láminas de acero galvanizado como podemos observar en la figura 40, el diseño posee 9 orificios de 1 pulgada los mismo para poder roscar las resistencias de inmersión, permitiendo el calentamiento del agua. Mientras que el orificio de 2 pulgadas, sirve para la evacuación del agua caliente hasta la piscina en estudio. Así mismo en la parte de la tapa podemos encontrar dos orificios; el primero (1/2 pulgada) sirve como purga para que los gases no se concentren dentro del tanque y el segundo (1 pulgada) es para llenado del mismo.

Figura 40. *Calentador Eléctrico*



FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

Se realizó la instalación de la bomba de agua con la que se permite el llenado del tanque metálico, el ingreso del fluido se lo realiza mediante una manguera de presión de 1 pulgada, así mismo la salida del agua caliente se evacua por un tubo de PVC de 1 pulgada con sus respectivos accesorios de acoplamiento, hasta llegar al estanque en estudio, como podemos ver en la figura 41,42.

Figura 41. *Conexión del sistema de evacuación*



FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

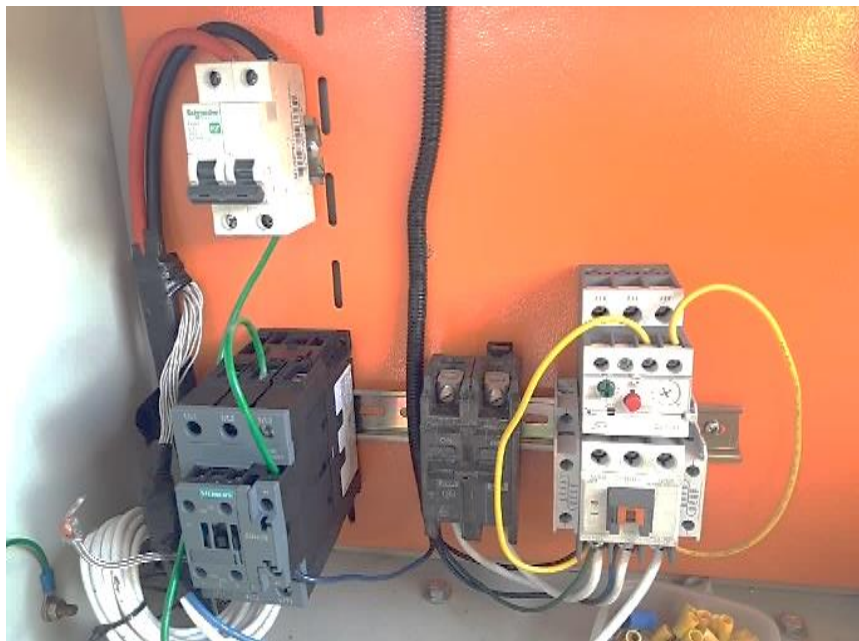
Figura 42. *Instalación de carga y descarga del sistema de agua*



FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

Continuando con el procedimiento, se realizó la conexión de las resistencias en paralelo, para ello se utilizó un contactor de 150A y un breaker de 150A como podemos ver en la figura 43. Y también se hizo la conexión de la bomba, electroválvula y PID a otro contactor de 32A.

Figura 43. *Instalación eléctrica del sistema industrial*



FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

Se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema térmico industrial automático, con todos sus componentes, permitiendo que la temperatura suba de 21°C hasta 31,7°C, como podemos observar en la figura 44, la misma evidencia que el sistema está funcionando correctamente.

Figura 44. *Panel de control*



FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4. Análisis económico para la construcción del prototipo

4.4.1. Costos de inversión para el sistema térmico industrial

A continuación, se detalla los valores invertidos en sistema térmico industrial, como son los equipos electrónicos, materiales eléctricos, materiales para la construcción del tanque de calentamiento y mano de obra, ver tabla 24.

Tabla 24. *Costos de inversión sistema de calentamiento*

Cantidad	Característica	V. Unitario(\$)	V. Total (\$)
Equipos electrónicos			
6	Resistencias eléctricas de inmersión	43,68	262,08
1	Controlador PID TCN4s	86,97	86,97
1	Sensor Pt100	27,40	27,40
1	Electroválvula	109,71	109,71
1	Termostato de 0-90°C	15,74	15,74
2	Bombas de agua de ½ Hp	30,80	61,60

1	Breaker 150A	50,00	50,00
1	Breaker 50A	15,00	15,00
1	Contactor de 150A	125,00	125,00
1	Contactor de 30A	35,00	35,00
Total			788,5
Materiales eléctricos			
50	Metros de Cable calibre 10	0,75	37,50
1	Cinta Aislante	2,00	2,00
1	Interruptor triple	6,00	6,00
10	Metros de cable para Pt100	2,50	25,00
1	Socket de 3 patas	2,00	2,00
Total			72,50
Materiales tanque de calentamiento			
1	Tubo de 1 pulgada de 6 metros	10,71	10,71
8	Metros de Manguera de presión	0,64	5,19
5	Codos de 90°	1,65	8,25
2	Unión universal	4,80	9,60
1	Teflón	1,50	1,50
4	Adaptadores	0,40	1,61
4	Neplo	0,99	3,98
2	Hojas de Dinapel	15,17	30,34
2	Fundas de Cemento	8,00	16,00
2	Plancha galvanizada	50,68	101,36
Total			188,54
Mano de obra			
1	Soldadura con autógena, eléctrica.	150,00	150,00
1	Rolada de plancha galvanizada	20,00	20,00
1	Constructor	30,00	30,00
	Fletes	50,00	50,00
2	Mano de obra estudiantes	100,00	200,00
Total			450,00
TOTAL			1499,54

FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4.2. Costos de inversión para mejoramiento del motor generador

A continuación, se detallan los valores de inversión, para el encendido automático del generador, como podemos observar en la tabla 25. En el caso de no haber energía eléctrica por parte de la empresa CNEL, gracias a esta innovación podremos tener energizados los blower, los mismos se encargan de mantener la oxigenación de las piscinas del área de piscicultura. Evitando la pérdida de peces en los estanques debido a la falta de oxígeno.

Tabla 25. *Costos de inversión generador*

Cantidad	Característica	V. Unitario(\$)	V. Total (\$)
Equipos electrónicos			
1	Cargador de Pc	45,00	45,00
3	Relay	4,00	12,00
3	Socket	1,50	4,50
1	Portafusiblera	6,00	6,00
2	Srr (relay de estado sólido)	37,95	75,90
1	Contactor de 30A	35,00	35,00
1	Breker 32A	12,50	12,50
1	Automático	10,00	10,00
1	Temporizador	10,00	10,00
Total			210,90
Materiales eléctricos			
6	Cable	0,25	1,50
1	Cinta Aislante	2,00	2,00
Total			3,50
Mano de obra			
2	Mano de Obra estudiantes	50,00	100,00
1	Mantenimiento de generador	50,00	50,00
Total			150,00
TOTAL			364,40

FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4.3. Costos de inversión en alimentación

Con la implementación del proyecto se reduce el tiempo de producción, siendo este de 8 meses antiguamente. Actualmente con el sistema la producción saldría en un tiempo de 5 meses. Por lo que existe un ahorro en alimentación.

Tabla 26. *Costos de Alimentación en los 3 meses*

Cantidad (mensual)	Característica	V. Unitario(\$)	V. Total (\$)
3	Sacos de balanceado	18,00	162,00

FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4.4. Costos de inversión en energía eléctrica

El proceso de producción final, tiene un consumo de energía de 135 Kwh estimados para lograr su equilibrio térmico. El sistema se encenderá durante 1 hora todos los días por lo que

tenemos un total de consumo 4185 Kwh durante los cinco meses de producción, dándonos una inversión de \$259,20.

Tabla 27. *Costos consumo de energía eléctrica*

Cantidad (meses)	Característica	Kwh/mes	V. U. (\$)	V. Total (\$)
5	Energía consumida proceso de producción	4185	0,092	385,02

FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4.5. Ganancias de ventas

En la tabla 28, se puede detallar las ganancias que genera la producción de tilapias. El peso en el que se comercializan al mercado es de 1,65 lb. El precio de la tilapia en la actualidad se encuentra a \$2,25 por lo que nos da un valor total de producción \$1837,68.

Tabla 28. *Ingresos de la producción*

Cantidad	Característica	Peso lb	V. unitario de libra(\$)	V. total
1	Producción por pez	1,65	2,25	3,71
495	Producción total	816,75	2,25	1837,68

FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4.6. Detalle final de inversión, ingresos y egresos

Tabla 29. *Inversión, Ingresos y Egresos*

Categoría	Característica	Valor total
Inversión	Inversión sistema térmico	1499,54
	Inversión mejora generador	364,40
Ingresos	Gastos alimentación por reducción de meses	162,00
	Ingresos económicos por venta de la producción	1837,68
Egresos	Gastos consumo de energía eléctrica	385,02

FUENTE: JURADO.J. Y ESPIN.J., 2019.

4.4.7. Valor beneficio costo

Tenemos un valor de beneficio costo del proyecto, este lo podemos obtener con los ingresos (B) netos de la venta de los pescados que es de \$1999,68, restados los gastos (CB), y el costo de inversión $\sum C$.

Desarrollo:

$$B - C = (B - CB) - \sum C$$
$$B - C = (1999,68 - 385,02) - 1499,54 = 115,12$$

Para un solo proceso de producción se puede recuperar todo el dinero de inversión. Teniendo una ganancia de \$115,12.

4.4.8. Cálculo de la TIR Y VAN

Este cálculo se lo realiza en base a las ganancias obtenidas en dos procesos de producción, el flujo neto de caja del primer proceso de producción es de \$1200 y el segundo flujo neto de caja es de \$1500.

La VAN es el valor actual

$$VAN = -1499,54 + \frac{1200}{1 + 0,10} + \frac{1500}{(1 + 0,10)^2}$$
$$VAN = -1499,54 + 1090,90 + 1239,66 = 831,08$$

Como podemos ver el VAN nos da un valor positivo es posible realizar este proyecto.

Cálculo de la TIR

La tasa interna de retorno de nuestra inversión en el proyecto de investigación vamos a obtener con la siguiente formula:

$$TIR = -INVERSION + \sum FLUJO DE CAJA ACTUALIZADOS AL PRESENTE.$$

$$VAN = -1499,54 + \frac{1200}{1+i} + \frac{1500}{(1+i)^2}$$

$$0 = -1499,54 + \frac{1200}{1+TIR} + \frac{1500}{(1+TIR)^2}$$

$$0 = -1499,54(1+TIR)^2 + 1200(1+TIR) + 1500$$

$$1+TIR = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$1+TIR = \frac{-1200 \pm \sqrt{1200^2 - 4(-1499,54)(1500)}}{2(-1499,54)}$$

$$1+TIR = -0,677$$

$$1+TIR = 1,477$$

$$TIR = 1,47 - 1 = 0,477 * 100\% = 47,7\%$$

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Para el sistema de calentamiento se escogió el método de resistencia eléctrica de tipo tubular sumergible, que mediante los respectivos cálculos considerando las pérdidas de calor, se estimó una potencia de entrada 27.000 W. Considerando todas las condiciones y detalles del estanque de cultivo de tilapia en estudio, se construyó un calentador eléctrico el mismo que es ideal para establecer el equilibrio térmico de manera automática.
- El sistema de aireación se complementó instalando una conexión secundaria alimentada por un generador diésel, modelo 186FA y genera un voltaje de 230 V, que alimentará a los dos sopladores regenerativos encargados de generar la aireación en todo el programa piscícola, este complemento se encenderá de manera automática solo cuando exista cortes de energía eléctrica en la línea principal.
- Diseñado el sistema de control estableció que todo el sistema térmico depende de un controlador de temperatura PID TCN4s, un sensor de temperatura Pt 100 y una electroválvula de sistema cerrado de 1 pulgada. En el controlador se configuró una temperatura de 32 °C, con un rango de variación de 3 °C, el sensor es el que transmitirá la señal al controlador, para que se encienda el calentador eléctrico. El controlador manda una señal para abrir el paso de la electroválvula permitiendo el ingreso de agua caliente al estanque de cultivo de tilapias, este mismo proceso se repetirá las veces que sea necesario, con la condición de incrementar un grado centígrado de temperatura cada 30 minutos.
- Los materiales y equipos seleccionados son adquiridos en el mercado ecuatoriano, de acuerdo a los requerimientos, calidad y capacidad necesaria. Entre los principales tenemos el controlador de temperatura TCN4s, sensor de temperatura Pt 100, electroválvula de sistema cerrado, resistencias eléctricas de 4500 W, termostato, breaker de 150 A, contactores de 30 y 150 A, bomba de agua ½ HP, cable 10 AWG y lamina de acero galvanizado A653.
- La construcción del sistema térmico industrial e instalación complementaría en el sistema de aireación, se inició con la cementación, la cubierta, luego con el diseño y

construcción del calentador eléctrico. Posteriormente con la instalación de componentes electrónicos, instalación de las resistencias en el calentador eléctrico, seguida por las conexiones de tuberías de suministro y descarga y finalmente con la configuración del controlador en la caja de control.

- Se realizaron las pruebas de funcionamiento ubicando el sensor de temperatura a 90 cm de la orilla y sumergido 40 cm, donde tiene una mayor recepción de señal de la temperatura del agua. Se configuró el controlador y calibró como se detalla en el manual del fabricante.
- En la fase de pruebas el sistema térmico funcionó correctamente, utilizamos un sensor EcoSense DO200A, para corroborar la temperatura del agua donde existía un margen de error mínimo de 0.5 - 1 °C. Además, se verificó los cálculos con las pruebas de funcionamiento, cumpliendo con las condiciones establecidas por el coordinador del programa piscícola Ing. Jorge Rodríguez PhD, de calentar el agua a una temperatura de 32 °C en 5 horas.
- Se trabajó dos días con energía del generador debido a que no existía energía eléctrica en todo el sector del Campus “La María”, lo que nos permitió corroborar que el sistema complementario instalado en el motor generador funciona correctamente y adicional a esto se realizó varios apagones en el sistema encendía automáticamente. donde verificamos que la capacidad de tanque de combustible del generador es de 3 galones y nos proporciona 10 horas de trabajo continuo.
- La inversión total de este proyecto de investigación es de \$1499,54 la misma que puede ser recuperada en tres periodos de producción, siendo cada uno de 6 meses, debido a que las ganancias totales son de 1837, 68. Para saber si nuestro proyecto es factible se realizó el cálculo de TIR Y VAN, los valores son positivos por lo que es si posible la implementación de este tipo de proyecto.

5.2. Recomendaciones

- Como existe interés por parte del coordinador de la red de investigación de desarrollo de producciones en acuicultura se han designado tres docentes de la UTEQ, como encargados del programa piscícola de piscicultura para el desarrollo de la misma, se recomienda establecer un control estricto del cuidado y alimentación de esta especie, creando programas de control diarios con los estudiantes de esta facultad, para de esta manera despertar el interés de investigar y realizar futuros emprendimientos.
- Se recomienda revisar los diagramas básicos de control para entender cómo trabaja el sistema térmico y complementario de aireación, y además se puede apreciar en detalle cada uno de los componentes que conforman el sistema con la finalidad de que la persona responsable manipule el sistema correctamente.
- A la persona que manipulará el sistema térmico considerar cada uno de los literales del manual básico de funcionamiento, de igual manera hacerlo con el manual de sistema complementario de aireación, sin evadir ningún paso detallado en el manual con el propósito de evitar cualquier contratiempo en el funcionamiento.
- Cuando el sistema térmico esté en funcionamiento y se evidencia cualquier desperfecto o ruido extraño, se recomienda bajar el breaker principal de 150A de color negro que se encuentra dentro de la caja de control, ejecutando de esta manera un paro de emergencia que no afectará al sistema térmico.
- Cuando existen ausencia de energía eléctrica en esta área revisar que el generador 186FA, se encuentre encendido y conectado adecuadamente, debido a que es el encargado de fomentar energía a los dos blower regenerativos, siendo estos los que proporcionan la aireación en toda el área, además se recomienda supervisar constantemente que se encuentre encendido cuando no exista la energía eléctrica, este tiene un tanque de almacenamiento de combustible que nos permite trabajar durante 10 horas.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Fattah y Sayed, Tilapie Culture, Egypt: CABI publishing, 2006.
- [2] F. Cantor, «SlideShare,» 2007. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/JCAMIOMOR/manual-de-produccion-de-tilapia>. [Último acceso: 25 11 2017].
- [3] Y. CENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA 4ª EDICION, MEXICO: MCGRAW-HILL, 2011.
- [4] BIELCO, «RESISTENCIAS DE INMERSIÓN,» BIELCO, BARCELONA, 2018.
- [5] A. C. Solé, INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL, España: MARCOMBO, 2005.
- [6] U. D. L. COSTA, «CONTROLADOR PID - GUÍA DE LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN,» FACULTAD DE INGENIERÍA - ELECTRÓNICA, BARRANQUILLA - COLOMBIA, 2015.
- [7] K. OGATA, INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA, MEXICO: PEARSON, 2010.
- [8] D. J. M. Pasco, «Piscicultura y Aireación,» EMBRAPA, 2015.
- [9] M. Saavedra, 4 Agosto 2006. [En línea]. Available: <http://www.crc.uri.edu/download/MANEJO-DEL-CULTIVO-DE-TILAPIA-CIDEA.pdf>. [Último acceso: 26 Noviembre 2017].
- [10] M. d. l. Paz, «books,» 1864. [En línea]. Available: https://books.google.com.ec/books?id=cQxv4Pr7d8EC&printsec=frontcover&dq=piscicultura&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiz_OWQ1O_YAhVDt1MKHbPzD8EQ6AEINDAD#v=onepage&q=piscicultura&f=false. [Último acceso: 11 03 2019].
- [11] P. P. y W. Borbor., «Repositorio ESPE,» 2012. [En línea]. Available: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/5598>. [Último acceso: 29 11 2018].
- [12] P. Flores, «Nicovita,» [En línea]. Available: <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>. [Último acceso: 29 11 2018].
- [13] S. H. T. y M. Quintanilla, «Cedenpesca,» 2008. [En línea]. Available: [file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/Manual%20de%20Produccion%20de%20Cria%20de%20Tilapia%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/Manual%20de%20Produccion%20de%20Cria%20de%20Tilapia%20(1).pdf). [Último acceso: 15 12 2018].

- [14] C. C. Garces, «EFECTOS DEL BIOFLOC SOBRE LOS PARÁMETROS DE CRECIMIENTO DE JUVENILES DE CACHAMA BLANCA PIARACTUS BRACHYPOMUS,» *Medicina veterinaria y zootecnia* , 2017.
- [15] L. C. Lasso, «scilo,» 04 Junio 2015. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/rovi/v19n1/v19n1a07.pdf>. [Último acceso: 21 Febrero 2018].
- [16] L. Brito, «ResearchGate,» 01 Octubre 2017. [En línea]. Available: https://www.researchgate.net/publication/320119882_Cultivo_de_alevines_de_tilapia_en_sistema_biofloc_bajo_diferentes_relaciones_carbononitrogeno. [Último acceso: 21 02 2018].
- [17] Y. A. CENGEL, TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA, MEXICO : McGraw-Hill, 2007.
- [18] J. HINCAPIE, «Estudio teórico del comportamiento de una piscina calentada con energía solar en somagoso, Colombia,» 02 11 2018. [En línea]. [Último acceso: 21 12 2018].
- [19] M. Hernandez, «Slideshare,» 03 06 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/MiguelngelHernandezTrejo/transferencia-de-calor-por-conveccion-y-radiacion>. [Último acceso: 03 12 2018].
- [20] E. H. S.L., «Resistencias de inmersión,» EUROPE HEATERS S.L., 2019.
- [21] B. FACSA, «Resistencias de inmersión,» 2017. [En línea]. Available: http://www.backerfacs.es/downloads/2/inmersion-estandar_1.pdf. [Último acceso: 11 03 2019].
- [22] H. Torres, «Sensor PT100 de Temperatura RTD,» 26 12 2017. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/sensor-pt100/>. [Último acceso: 08 03 2019].
- [23] E. Parra, «Temporizadores: Clases y funcionamiento,» Bricos, 08 11 2012. [En línea]. Available: <https://bricos.com/2012/11/temporizadores-clases-y-funcionamiento/>. [Último acceso: 11 03 2019].

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1. Vista panorámica del programa de piscicultura de la UTEQ.



Anexo 2. Sistema de evacuación de residuos sólidos del estaque en estudio biofloc.



Anexo 3. Sistema de oxigenación instalado en el estaque en estudio.



Anexo 4. Sopladores regenerativos que permiten la oxigenación del agua (Biofloc).



Anexo 5. Vista del estanque de estanque circular de concreto en estudio.



Anexo 6. Estado en el que se encontró al motor generador.



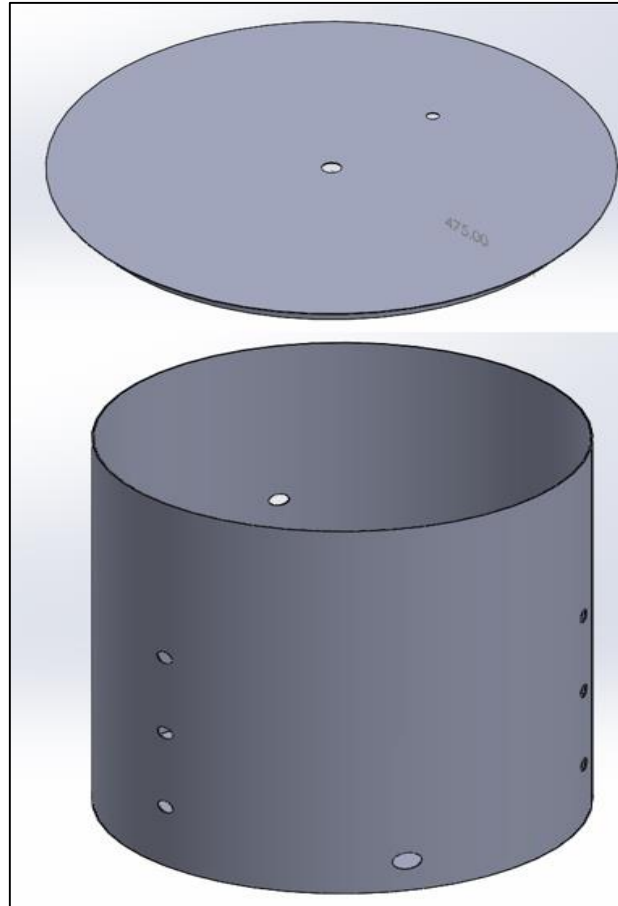
Anexo 7. Sensor EconSense DO200A y Controlador de temperatura TCN4S utilizados para medición de temperatura en el estanque en estudio.



Anexo 8. Producción de tilapias en el programa de piscicultura de la UTEQ.



Anexo 9. *Diseño del calentador eléctrico en Solidworks 2018.*



Anexo 10. *Construcción de reservorio del calentador eléctrico en Taller Industrial Salazar.*



Anexo 11. Adecuación del lugar donde se instaló el sistema térmico industrial.



Anexo 12. Materiales y equipos para la instalación del calentador eléctrico.



Anexo 13. *Limpieza del estanque, mantenimiento del sistema de oxigenación.*



Anexo 14. *Sistema de carga y descarga del calentador eléctrico.*



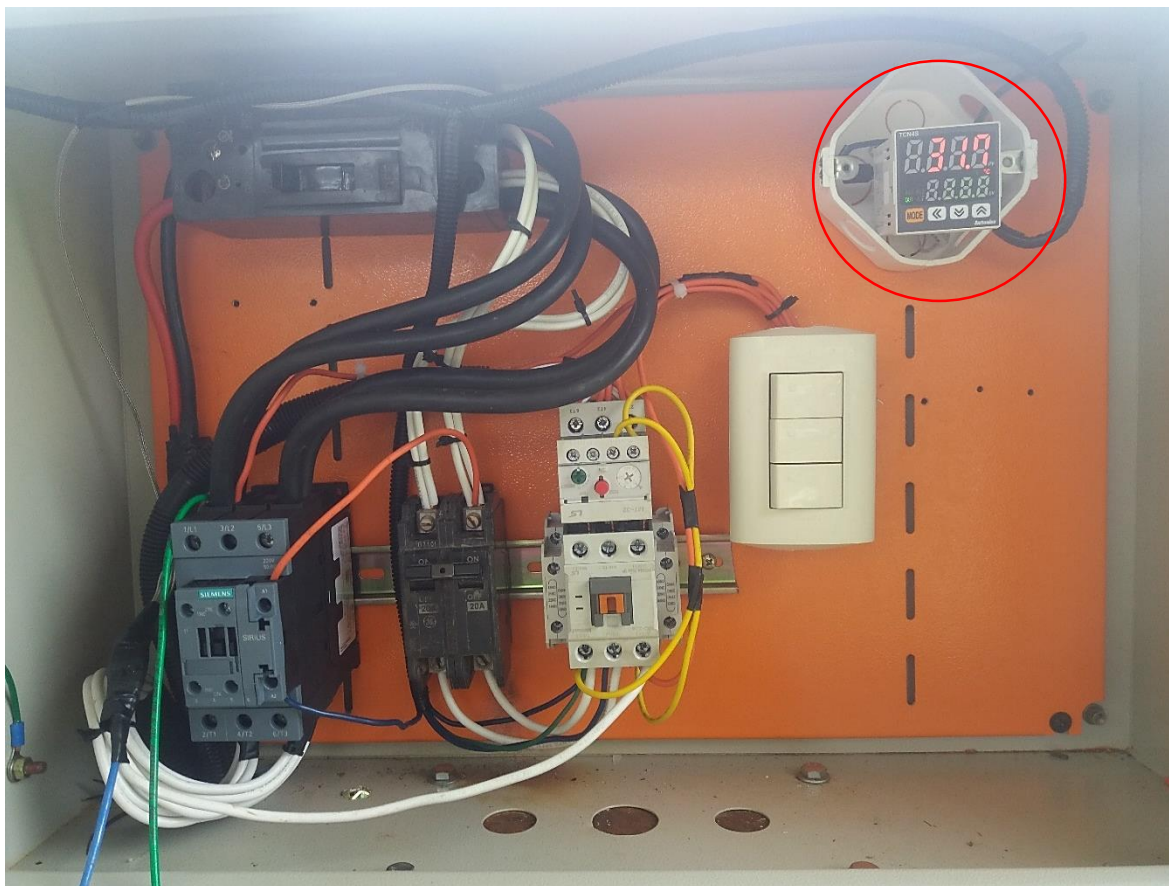
Anexo 15. *Instalación de la caja de control del sistema térmico Industrial.*



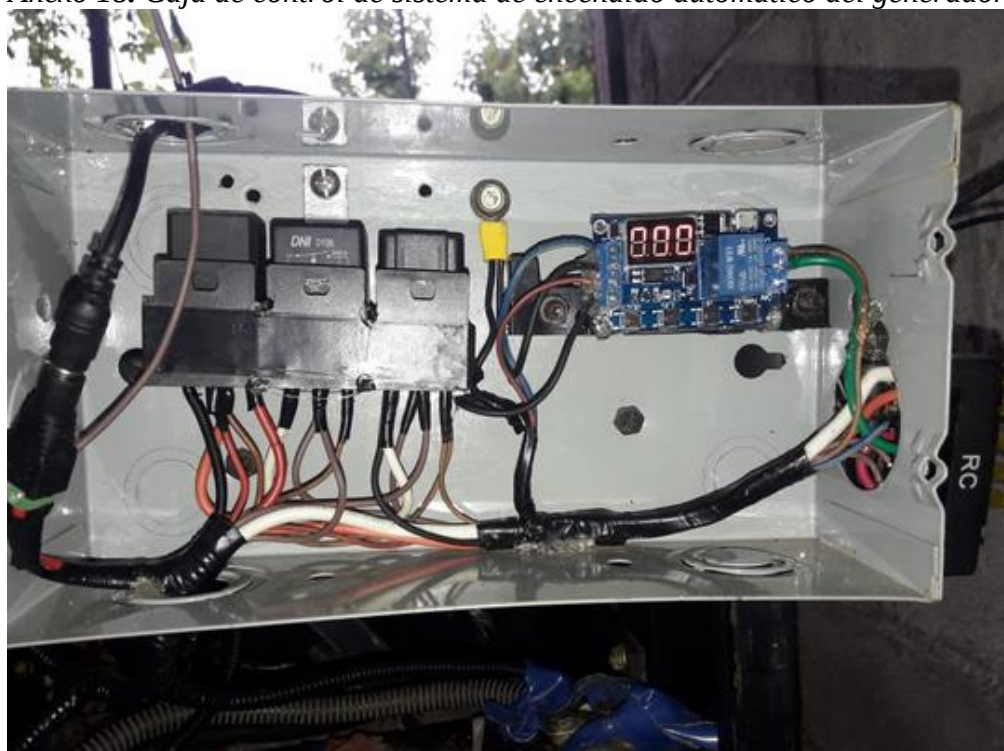
Anexo 16. *Instalación completa del Sistema Térmico Industrial.*



Anexo 17. Sistema térmico industrial, en funcionamiento cerca de llegar al set point de 32 °C establecido.



Anexo 18. Caja de control de sistema de encendido automático del generador.



Anexo 19. Generador con su conexión de sistema automático, en funcionamiento



Anexo 20. Mediciones de humedad con el termohigrómetro



Anexo 21. Manual de funcionamiento de sistema de calentamiento y aireación

MANUAL DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA INDUSTRIAL PARA EL ESTANQUE DE TILAPIAS

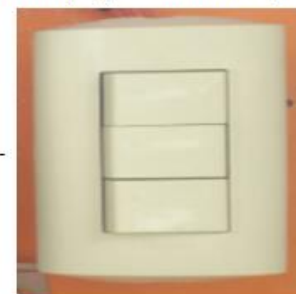


1. MANUAL EN BASE AL CALENTADOR ELÉCTRICO.

1. Para hacer una limpieza del tanque metálico debemos tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Desconectar el socket eléctrico que se encuentra en parte externa de la caja metálica, con mucho cuidado, como podemos ver en la figura. Esto se realiza para que las resistencias no tengan energía durante el mantenimiento del tanque.



- Bajar los breaker eléctrico de 20A, activar el botón neutro (este es el tercero de los interruptores que se encuentran en la caja), ver figura.
- Luego de esto se presiona el botón de llenado del tanque que se encuentra el primer interruptor.
 - Para el vaciado del agua se presiona el segundo interruptor que permite la salida del agua almacenada.
 - Poner a todos los 3 interruptores en modo apagado, observar la figura.



2. No tocar los cables de alta tensión, los que se encuentran conectados al breaker de 150 A.
3. No mover la posición de la tapa del tanque metálico, debido a que el termostato se podría enganchar en las resistencias y esté se dañaría debido a las temperaturas que producen las mismas.
4. No tocar los cables de la conexión sin haber apagado el breaker de 150A.
5. Apagar el breaker principal (150A) en caso de escuchar algún ruido extraño o presentarse algún problema.
6. La caja metálica debe siempre permanecer cerrada como podemos observar en la figura, para no permitir el ingreso de agua debido a que se llenarían el contactor y los breaker produciendo daños en el mismo.
7. Llenar de agua la purga que se encuentra en la bomba, debido a que si se la mueve se llena de aire y se vacía por lo que la turbina no tendrá agua y se podría dañar.
8. No tocar el tanque de calentamiento, ni los cables que están saliendo de las resistencias.
9. Se debe cubrir con agua las resistencias como condición inicial para el encendido de las mismas, evitando daños posteriormente.



2. MANUAL EN BASE AL SISTEMA COMPLEMENTARIO DE AIREACIÓN DEL MOTOR GENERADOR.

1. En caso de haber energía eléctrica y se necesita encender el motor generador para calentarlo, se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:
 - Desconectar el cable que va al motor de arranque, tener cuidado que tope alguna parte metálica, el mismo que se muestra en la figura.
 - Sacar todos los cinco fusibles que se encuentran en la porta fusilera.



observar en la figura.

- Conectar el cable que se desconectó del motor de arranque.
- Bajar el interruptor de palanca, para no permitir el paso de corriente a los blower, ver la figura.
- Luego de esto debemos asegurarnos de que el botón de ahogador se encuentre hacia abajo, y el RUN se encuentre hacia la derecha, como podemos observar en la figura.
- Por último debemos dar arranque con la llave.
- Dejarlo encendido durante unos 15 min.
- Para apagarlo se debe presionar el stop hacia abajo como podemos visualizar en la figura.



- Dejar el ahogador hacia abajo y el RUN hacia la derecha listo para otro encendido.
 - Alzar el interruptor de palanca que se encuentra dentro de la bodega.
 - Se recomienda realizar este procedimiento 2 veces por semana, durante un tiempo de 15 min.
2. Nunca encender el generador cuando haya energía eléctrica (fuente de alimentación), se puede dañar al motor generador.
 3. La llave del motor siempre debe estar en modo ON y nunca en OFF ver figura, para que así se realice el encendido automático cuando no haya presencia de energía eléctrica.
 4. Siempre debe estar la palanca del ahogador hacia abajo, se recomienda que cuando haya existido un corte de energía y regreso del mismo se debe bajar la palanca.
 5. La palanca del RUN debe estar siempre hacia la derecha, se recomienda que después de haber regresado la energía se la mueva a la derecha.
 6. Se recomienda proteger al motor de no tener contacto con el agua, ponerlo en un lugar seguro libre de goteras, debido a que se dañan los componentes eléctricos.
 7. Consumir el diésel que se encuentra en tanque del generador en un tiempo prudencial de 3 a 6 meses, debido a que factores externos pueden hacer perder las propiedades.
 8. Realizar 2 veces al año una revisión del motor generador con un técnico especializado, para evitar daños posteriores.



Proyecto de Investigación:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA TÉRMICO INDUSTRIAL QUE REGULE AUTOMÁTICAMENTE LA TEMPERATURA Y AIREACIÓN DEL AGUA, PARA UN ESTANQUE DE CULTIVO DE TILAPIAS UBICADO EN LA FINCA EXPERIMENTAL LA MARÍA DE LA UTEQ.

Autores:

Espín Padilla Jean Carlos

Jurado Olalla Jenny Vanessa

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Ernesto Javier Ruano Herrería, MSc

Quevedo – Los Ríos - Ecuador

2019

