

CONTROLLER OF TEMPERATURE AND LEVEL FOR FINGERLIMBS POND

Javier Eduardo Martínez Baquero, Magister en Tecnología Educativa¹
Luis Alfredo Rodríguez Umaña, Especialista en Automática e Informática Industrial²

Felipe Andrés Corredor Chavarro, Magister en Software Libre³

¹ Universidad de los Llanos, Colombia, jmartinez@unillanos.edu.co

² Universidad de los Llanos, Colombia, lrodriguez@unillanos.edu.co

³ Universidad de los Llanos, Colombia, felcorredor@unillanos.edu.co

Abstract– *This document shows the design of a temperature and level controller for a pond with fingerlims; besides it has an automatic system which provides food to the fingerlings present in the pond at stipulated times according to the program, which depending on the species of fingerling has certain characteristics to develop in its environment. The system has a main power board supported by an emergency board (UPS), which will be feeding the various sensors and equipment that interact in it, on the other hand will be the instrument panel which contains a PLC that is connected to the different sensors and equipment that intervenes in the system, programmed to perform different actions according to the information provided from their interconnections. Taking into account that the water must have a circulation cycle due to the feces and alkalinity of the water, an opening of the outlet valve of the water and inlet must be made, so that it is treated by means of filters and can return to the environment or in its defect will be reused again in the system.*

Keywords- *Fingerlings, Controller, Pond, Variables.*

Digital Object Identifier (DOI):<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.260>

ISBN: 978-0-9993443-1-6

ISSN: 2414-6390

CONTROLADOR DE TEMPERATURA Y NIVEL PARA ESTANQUE DE ALEVINOS

Javier Eduardo Martínez Baquero, Magister en Tecnología Educativa¹
Luis Alfredo Rodríguez Umaña, Especialista en Automática e Informática Industrial²
Felipe Andrés Corredor Chavarro, Magister en Software Libre³

¹ Universidad de los Llanos, Colombia, jmartinez@unillanos.edu.co

² Universidad de los Llanos, Colombia, lrodriguez@unillanos.edu.co

³ Universidad de los Llanos, Colombia, felcorredor@unillanos.edu.co

Resumen- En el presente documento se muestra el diseño de un controlador de temperatura y nivel en un estanque de alevinos; además de esto se cuenta con un sistema automático que proporciona alimento a dichos alevinos presentes en el estanque mediante tiempos estipulados según la programación, los cuales dependiendo de la especie de alevino tiene una ciertas características para desarrollarse en su entorno. El sistema dispone de un tablero principal de potencia respaldado por un tablero de emergencia (UPS), el cual estará alimentando los diversos sensores y quiops que interactúan en éste, por otra parte estará el tablero de instrumentación el cual contiene un PLC que está conectado con los diferentes sensores y equipos que intervienen en el sistema, programado para realizar diferentes acciones según la información brindada de sus interconexiones. Teniendo en cuenta que el agua debe tener un ciclo de circulación debido a las heces y alcalinidad del agua, se debe realizar una apertura de válvula de salida del agua y entrada, para que sea tratada por medio de filtros y puede regresar al ambiente o en su defecto ser reutilizada de nuevo en el sistema.

Palabras clave— Alevinos, controlador, estanque, variables.

Abstract - This document shows the design of a temperature and level controller for a pond with fingerlings; besides it has an automatic system which provides food to the fingerlings present in the pond at stipulated times according to the program, which depending on the species of fingerling has certain characteristics to develop in its environment. The system has a main power board supported by an emergency board (UPS), which will be feeding the various sensors and equipment that interact in it, on the other hand will be the instrument panel which contains a PLC that is connected to the different sensors and equipment that intervenes in the system, programmed to perform different actions according to the information provided from their interconnections. Taking into account that the water must have a circulation cycle due to the feces and alkalinity of the water, an opening of the outlet valve of the water and inlet must be made, so that it is treated by means of filters and can return to the environment or in its defect will be reused again in the system.

Keywords— Fingerlings, controller, pond, variables.

Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2018.1.1.260>
ISBN: 978-0-9993443-1-6
ISSN: 2414-6390

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de especies de animales y vegetales que cumplen todo o parte de su ciclo vital en el agua es una actividad que se practica desde hace más de 2000 años, los primeros registros datan del año 500 A.C. en China donde Fan-Li elaboró el primer tratado de piscicultura basado en el cultivo de la carpa, mientras que los romanos lo hicieron en cultivos de ostras extrayendo ejemplares de pequeña talla de la naturaleza para su engorde. En el siglo XIV, monjes franceses desarrollaron el cultivo de la trucha arco-iris. A fines del siglo XVIII se logró fecundar huevos de trucha y de salmón artificialmente, a partir del desarrollo de una técnica que un siglo más tarde contribuyó a la repoblación con alevines de estas especies.

En el siglo XX, hacia fines de la década de los años 40, los países de la región del Indo-Pacífico Taiwán y Filipinas, practicaban la acuicultura de numerosas especies como carpas, tilapias y moluscos bivalvos en forma intensiva, con tecnologías más avanzadas, permitiendo la comercialización masiva de la producción, cubriendo la demanda de proteína en sus mercados locales. La piscicultura (cultivo de peces) fue y sigue siendo la actividad más significativa dentro del volumen de la producción acuícola. Su auge se alcanza a partir de las décadas de 1960 y 1970, años en los cuales se imprimió un gran desarrollo científico y tecnológico. [1]

El suministro per cápita de pescado ha alcanzado su máximo histórico en 2008 (FAO, 2010), lo que da a entender la magnitud de este sector y su importancia en los ingresos de los pescadores de subsistencia y a pequeña escala, sin olvidar que el pescado es una fuente de proteínas animales de gran calidad y lo que es más importante, es económica.

Para establecer la importancia que tiene, cabe decir que el empleo generado aumenta más rápidamente que la población mundial. [2]

De esta manera, el presente trabajo se realizó con el propósito de diseñar un sistema de monitoreo para la alimentación de alevinos, en donde se quiere obtener una baja tasa de mortalidad, aumentar la producción y dar herramientas de apoyo para control de condiciones del estanque.

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En forma global el término acuicultura reúne a todas aquellas acciones que tienen por objeto la producción, el crecimiento y comercialización de organismos acuáticos animales o vegetales de aguas dulces, salobres o saladas. Implica el control de las diferentes etapas de desarrollo hasta la cosecha, proporcionando a los organismos los medios adecuados para su crecimiento y engorde (López, M, 2003).

La acuicultura sigue creciendo más que ningún otro sector de alimentos animales, aumentando el suministro per cápita en 0,7 kg en 1970 hasta 7,8 kg en el año 2008. Se espera de la acuicultura que supere a la pesca de captura como fuente de alimento comestible si siguen así las estadísticas (FAO, 2010).

Hay quienes afirman que los orígenes de la piscicultura en Colombia se sembraron hace un siglo, cuando en 1912, fueron traídos al país los primeros individuos de carpa común (*Cyprinus carpio*), especie originaria de China, de la que la FAO dice que es el pez que el hombre ha cultivado por más tiempo en el mundo: más de dos siglos. Sin embargo, es con la trucha con la que comienzan a verse los primeros esfuerzos empresariales, mucho tiempo después de que fuera introducida al país, en 1939, con el propósito de poblar lagunas y ríos de zonas frías, comenzando por el lago de Tota, Boyacá, pero con fines deportivos. [3]

Realmente, los primeros asomos de truchicultura empiezan a darse a mediados de los setenta, luego de que el Instituto Nacional de Recursos Naturales Renovables, Inderena, creado en 1968 y más tarde convertido en el Ministerio del Ambiente, le encomendara a la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca y Boyacá, CAR, la investigación y el fomento piscícolas. Es así como este organismo, con recursos de la FAO, monta en 1976 unos cultivos experimentales en el lago de Tota y en el embalse del Neusa, Cundinamarca, trabajos que son replicados en la laguna de La Cocha, Nariño, y que irían a ser la base de la industria nacional de la trucha. En dichos departamentos, a los cuales posteriormente se suman Antioquia, Cauca, Huila, Quindío y otros, se establece esta actividad. [3]

La acuicultura (FAO, 1992) es la cría o el cultivo de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas, en un medio controlado evitando efectos perniciosos sobre la naturaleza y aplicando para ello técnicas encaminadas a aumentar, por encima de las capacidades naturales del medio, la producción de los organismos en cuestión. Su principal característica diferenciadora es el hecho de que a lo largo de todo este proceso (tanto crianza como comercialización), los animales son propiedad de una persona, ya sea física o jurídica. El hombre es, así pues, el agente que interviene en este proceso productivo, en operaciones tales como la siembra, la alimentación, la protección frente a los depredadores, etc.

El desarrollo positivo que ha tenido la acuicultura en Colombia tanto en la costa como en el interior del país se debe a la gran bondad que nos ofrece el territorio Colombiano zonas donde los recursos y los ecosistemas han permitido adelantar el cultivo de especies hidrobiológicas, como camarón tilapia, trucha, carpa y especies nativas como el bocachico cachama, fundamentados los cultivos en etapas como: Producción de alevinos, las actividades de levante y engorde, procesamiento o transformación de la producción acuícola y la comercialización. [4]

Se definen a continuación las siguientes palabras relacionadas con el trabajo:

Peces: Los peces son vertebrados acuáticos que respiran a través de branquias; viven tanto en agua dulce como en agua salada y se calcula que en la actualidad existen más de 21.000 especies. La reproducción es variable en función del tipo de pez, existen tres clases: vivíparos, ovíparos y ovovivíparos.

Ovovivíparos: retienen los huevos en el interior de la madre y son expulsados en el momento de la eclosión, es una forma de proteger a sus crías frente a depredadores, el embrión se alimenta del vitelo existente en el huevo.

Vivíparos: tienen una forma muy especial de alimentar al embrión, bien por secreciones ováricas o por placentación.

Ovíparos: expulsan los huevos al medio natural y su fecundación es externa a diferencia de los anteriores.

Tilapia Roja: Resultado de varios cruces de tilapias; son de origen africano, siendo una de las variedades más cultivadas. Es altamente filtradora, para cultivo se debe contar con poblaciones monosexo de machos por su mejor crecimiento y para evitar su pronta reproducción que traería

problemas de superpoblación y competencia por oxígeno, espacio y alimento y la rápida propagación de enfermedades.

En el cultivo de tilapia roja, se emplean fundamentalmente dos sistemas de producción; el sistema de estanques en tierra y el sistema de jaulas o jaulones flotantes en cuerpos de agua (embalses de hidroeléctricas o reservorios de agua para distritos de riego). [5]

Para cultivo se recomienda tener estanques cubiertos para la primera etapa hasta 80gr. de peso para evitar la depredación por parte de las aves.

Tiene cualidades de buen crecimiento, gran demanda comercial, rusticidad para un manejo para su manejo, resistencia a enfermedades, acepta alimento concentrado y permanente disponibilidad de semilla.

Tipos de estanques: Existen 4 tipos de estanques los cuales explican a continuación:

Estanques apisonados: Estos estanques utilizan el mismo suelo, no se les adiciona nada salvo césped para que tengan mejor agarre. En algunos casos se agregan algunas piedras las cuales las apisonan contra el fondo. Este tipo de estanques se los utiliza en grandes predios. Muchas veces, estos estanques son construidos en pozos naturales del lugar el cual se lo llena casi siempre con la propia agua de las lluvias más agua de camiones cisterna.

Estanques pre-fabricados: Son como piletas, se pueden comprar en acuarios y algunas fábricas de pileta también posee en algunos diseños.

Al momento de seleccionar el estanque prefabricado se deberá prestar mucha atención a que la profundidad sea la correcta. Tienen diferentes medidas y tamaños. Los pequeños son muy usados en jardines de invierno.

Estanques de lona: Usando lona de plástico especial se logra un toque muy natural en el estanque. Las lonas permiten mayor maniobrabilidad en la etapa de diseño del estanque y le permiten asegurar el estanque sin mucha mano de obra. Lo importante en las lonas es la calidad, no hay que ahorrar calidad en el momento de su compra. Imagínese vaciando todo un estanque porque se tajó la lona a causa de mala calidad. [6]

Las lonas deben ser de EPDM flexibles de gran calidad, de un grosor de 0.8mm mínimo. Deben ser resistentes a los rayos ultravioletas. Deben ser resistentes a las heladas como al calor. No nombraré marcas de lonas (no es este un sitio comercial) pero hoy en día todas las lonas de marcas de productos para acuarios son muy buenas y de calidades

semejantes, sus diferencias radican en tamaño y precio (la marca). Estas lonas poseen garantías de sus fabricantes. [7]

Otro de los aspectos importantes es la calidad del agua, el cual incluye todas las variables físicas, químicas y biológicas que influyen en la producción de especies acuáticas. Las prácticas de manejo de cultivo de peces y camarones tiene como objetivo mantener las condiciones químicas y biológicas adecuadas en el medio.

El buen crecimiento de los organismos acuáticos depende en gran parte de la calidad del agua del cultivo. Múltiples factores pueden interactuar para alterar las propiedades físico-químicas del agua. [8]

Una de estas es la nitrificación, que es el amoníaco, el principal producto final del catabolismo de la proteína y es excretado por los peces como amoníaco no ionizado (NH_3) a través de las branquias. El amoníaco, nitrito y nitrato son todos altamente solubles en agua. El amoníaco existe en dos formas: no ionizado y ionizado (NH_4 amonio), la concentración relativa de estas formas en la columna de agua es principalmente una función del pH, temperatura y salinidad (Anthonisen et al., 1976). La suma de las dos formas se denomina amoníaco total o simplemente amoníaco (NAT). Un aumento del pH o la temperatura aumenta la proporción de la forma no ionizado del NAT. Para exposiciones de largo plazo, las concentraciones permisibles de NH_3^+ dependen de la especie y de la temperatura de cultivo, pero como regla general este debe mantenerse bajo 0.05mg/l.

El nitrito es un producto intermedio en el proceso de nitrificación del amoníaco a nitrato. A pesar que es usualmente convertido en nitrato tan pronto como se produce, la falta de oxidación biológica del nitrito resultará en niveles elevados de este que pueden ser tóxicos para los peces; debe ser constantemente monitoreado ya que los altos niveles podrían indicar una inminente falla del biofiltro.

Los factores que afectan a la velocidad de nitrificación son pH, alcalinidad, temperatura, oxígeno, amoníaco y salinidad.

Se presenta en la figura 1 las fases de producción.

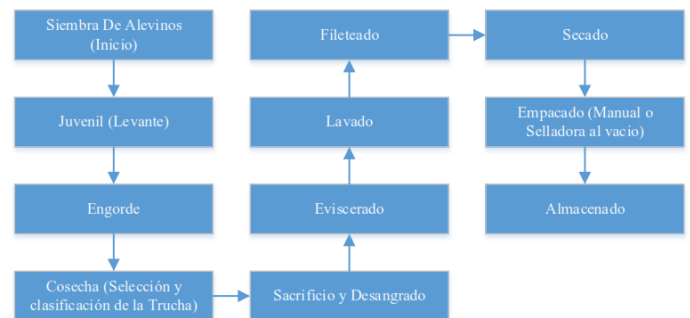


Fig. 1. Fases de producción

Fuente: Los Autores

Por otra parte, un sistema automatizado está conformado por elementos o instrumentos, los cuales son utilizados para medir variables físicas, ejercer acciones de control y transmitir señales. En todos los procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes. [9]

El diccionario de la Real Academia Española define la Automática como la disciplina que trata de los métodos y procedimientos cuya finalidad es la sustitución del operador humano por un operador artificial en la ejecución de una tarea física o mental previamente programada. [10]

Los sistemas de control realizan estas operaciones de forma automática, estabilizando la variable del proceso (salida) en un valor deseado (set point). Gracias al uso de los controladores se han mejorado muchos procesos de producción, incrementando la calidad de productos en la industria.

En la ecuación (1) se representa un controlador PID

$$PID = Kp(1 + \frac{1}{TiS} + TdS) \quad (1)$$

Este controlador establece su característica de desempeño según la ecuación (2), como la señal en el dominio de tiempo llamada señal de control o señal de mando, indicando allí las constantes que lo rigen.

$$u(t) = Kpe(t) + \frac{Kp}{Ti} \int e(t)dt + KpTd \frac{d}{dt} e(t) \quad (2)$$

III. METODOLOGÍA

Para el desarrollo del sistema se optó por usar una metodología de tipo evolutivo, dividida en tres fases, las cuales son: Análisis, diseño y pruebas. La metodología también permite regresarse a una fase anterior si se detecta alguna inconsistencia o error, o si se desea mejorar algún aspecto del sistema.

Inicialmente se realizó la recolección de información, en los cuales se abarcaba toda la temática relacionada con la fundamentación teórica necesaria para el desarrollo de proyecto, de esta manera se tiene un punto de partida para pasar a la siguiente etapa.

A. SISTEMAS GENERAL

Para iniciar, se describe a continuación el proceso del sistema de monitoreo para alimentación de alevinos en estanque prefabricado, como se puede observar en figura 2. La planta de proceso de alevinos cuenta con un pozo profundo, una motobomba de extracción de agua del pozo

POZ-001, dos tanques de almacenamiento de agua, una válvula solenoide de entrada del tanque TK-101, un motor distribuidor de alimento, una válvula solenoide de salida del tanque TK-101, un separador de contaminantes, un filtro activo de carbono, un motobomba de extracción de agua del tanque TK-102.

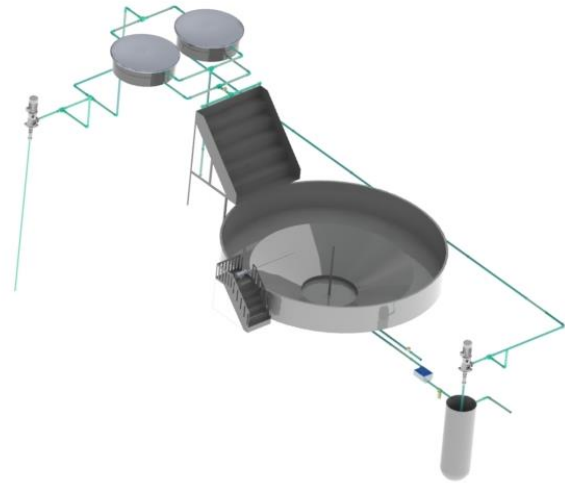


Fig. 2 Diagrama de proceso
Fuente: Los Autores

Basado en lo anterior, la figura 3 muestra las funciones que va controlar el PLC, en las cuales comienzan con la regulación del nivel de los tanques TK-100A/B, también con el control de las válvulas de apertura tanto de entrada como salida del tanque TK-101, la activación de la iluminación, la activación del motor de distribución de alimento, la activación de la resistencia y la activación del motor de oxigenación.

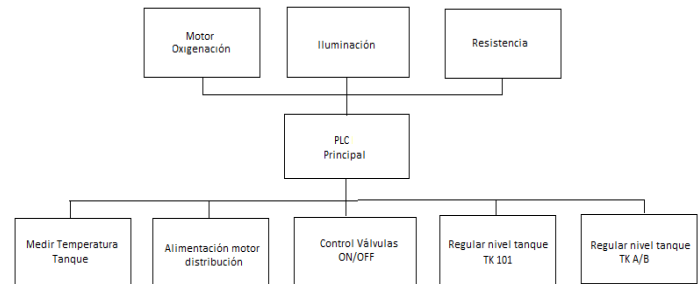


Fig. 3 Diagrama de funcionamiento
Fuente: Los Autores

La figura 4 muestra la vista superior del sistema de monitoreo para alimentación de alevinos, cuyo proceso comienza con la extracción de agua del pozo profundo POZ-001, por medio de una motobomba PLA-P-PBB-001, la cual se activa cuando se cierra el interruptor de nivel alto del pozo y el interruptor de nivel bajo este abierto de los tanques de almacenamiento TK-101A/B y se desactiva cuando se cierre el interruptor de nivel alto del pozo o el interruptor de nivel alto de los tanques TK-101A/B. Una vez esté lleno los tanque TK-101A/B, se activa la válvula controladora de nivel LCV-

001 la cual permitirá que el agua pase por el oxigenador tipo cascada OXI-001 y llegando al tanque TK-101, esta válvula estará activa hasta que el interruptor de nivel bajo y alto del tanque estén cerrados.

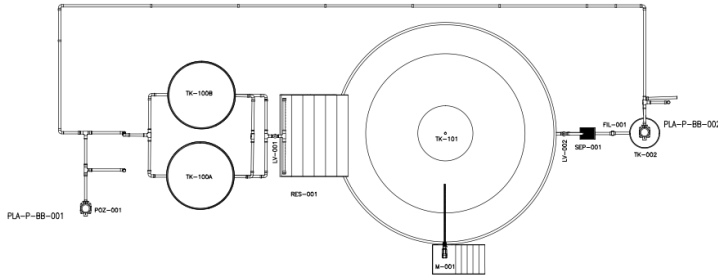


Fig. 4. Planta de proceso de alevinos vista superior
Fuente: Los Autores

Cuando el interruptor de nivel alto del tanque TK-101 esté cerrado activará el motor de oxigenación y el motor de distribución de alimento, el cual tendrán unos ciclos de activación y desactivación programados.

Por otra parte el sistema en un determinado tiempo realizará un cambio de agua, con la activación de switch de limpieza, así se activará la válvula controladora de nivel LCV-002, la cual es la encargada de extraer el agua a un separador de sedimentos, cuando el agua pase por el separador de sedimentos seguirá al filtro activo de carbón, después de esto llegara al tanque TK-102 el cual almacenara esta agua.

Cuando el interruptor de nivel alto del tanque TK-102 se cierre y los interruptores de nivel de los tanque TK-100 A/B estén abiertos y el PLC está en modo de recirculación, la bomba PLA-P-BB-002 se activara suministrando agua a los tanques TK-101 A/B, hasta que los interruptores de nivel alto de los tanques TK-100 A/B este cerrados.

B. TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Con respecto a los tanques de almacenamiento TK-101A/B (figura 5), se efectúan a continuación los cálculos para determinar su volumen y así establecer la cantidad de agua que contendrá, teniendo en cuenta la ecuación (1) y la siguiente información:

Radio(r)=2130mm
Altura (h)=600mm

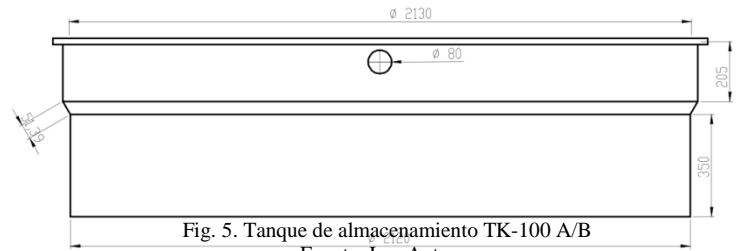


Fig. 5. Tanque de almacenamiento TK-100 A/B
Fuente: Los Autores

$$V_{\text{tanque}} = \pi r^2 h \quad (3)$$

$$V_{\text{tanque}} = \pi (2130 \text{ mm})^2 (600 \text{ mm}) \quad (4)$$

$$V_{\text{tanque}} = 8551,6 \text{ litros} \quad (5)$$

El sistema contiene dos tanques, por lo tanto el volumen total es:

$$V_{\text{tanques}} = 17103,2 \text{ litros} \quad (6)$$

De igual manera se efectúa el cálculo del volumen del tanque TK10, teniendo en cuenta que éste se efectúa por partes, según la geometría de cada área (figura 6), así:

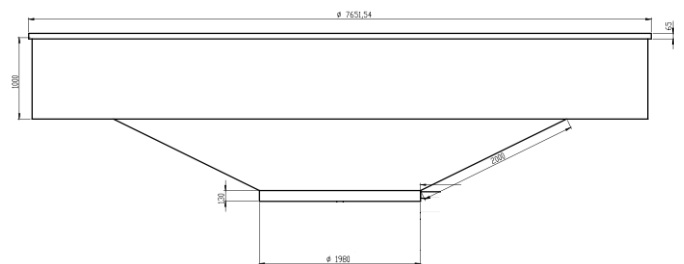


Fig. 6. Tanque de almacenamiento TK-101
Fuente: Los Autores

Primera parte

Radio(r)=3000mm
Altura (h)=1000mm

$$V_{\text{tanque}} = \pi (3000 \text{ mm})^2 (1000 \text{ mm}) \quad (7)$$

$$V_{\text{tanque}} = 28273,5 \text{ litros} \quad (8)$$

Segunda parte

Radio(r)=1980mm
Altura (h)=763.7mm

$$V_{\text{tanque}} = \pi (1980 \text{ mm})^2 (763.7 \text{ mm}) \quad (9)$$

$$V_{\text{tanque}} = 9405,68 \text{ litros} \quad (10)$$

Tercera Parte

Para esta parte se tiene en cuenta el volumen de un cono truncado, con los siguientes datos:

Altura(h):800mm
 Radio base mayor(R):2800mm
 Radio base menor(r):1980mm

$$Volumen = \frac{\pi \cdot h}{3} (R^2 + r^2 + R \cdot r) \quad (11)$$

$$Volumen = \frac{\pi(800mm)}{3} [(2800mm)^2 + (1980mm)^2 + ((2800mm)(1980mm))] \quad (12)$$

$$Volumen=14496,576 \text{ litros} \quad (13)$$

Cuarta Parte

Corresponde a la sumatoria total de los resultados.

$$Volumen \text{ Total}=28273,5\text{litros}+9405,68\text{litros}+14496,576\text{litros} \quad (14)$$

$$Volumen \text{ Total} = 52175,756 \text{ litros} \quad (15)$$

De esta manera se establece que el tanque principal, el cual albergará los alevinos, tiene un volumen total de 52175,6 litros, por lo tanto se requiere que los tanque TK-100A/B les proporcionen tres veces su capacidad.

C. ALIMENTACIÓN DE LOS PECES

Con respecto a la alimentación de los peces, se toma como referencia la tabla 1, en la cual se cual se consideran peces entre 200 y 400 gramos.

TABLA I.
ALIMENTACIÓN DE PECES

PESO DEL PEZ EN GRAMOS		
°C Agua	200-300	300-400
21	1.2%	1.1%
22	1.3%	1.1%
23	1.4%	1.2%
24	1.4%	1.3%
25	1.5%	1.3%
26	1.5%	1.4%
27	1.6%	1.4%
FRECUENCIA DE SUMINISTRO		
Veces/Día	4	4
DÍAS APROXIMADOS DE CADA CICLO		
Días	55	45

Fuente: Los Autores

En el sistema se considera la información suministrada con respecto a la alimentación de los alevinos, ya que de ésta dependerá la cantidad de alimento que se suministrará por el sistema automático, especialmente para el presente trabajo que considera tilapia roja.

Uno de los aspectos a tener en cuenta es que el sistema entregará el alimento en pequeñas raciones, buscando de esta manera que los peces tomen el alimento de la superficie, evitando además que parte del alimento caiga al fondo de tanque, en donde se perderá debido a que los peces no lo comerán una vez éste llegue al fondo del estanque prefabricado.

IV. RESULTADOS

Se describe a continuación el modelamiento de la planta para el controlador de temperatura usando sintonización de ZIEGLER-NICHOLS, mediante el cual la planta puede describirse a partir de la siguiente función de transferencia:

$$G(s) = \frac{K e^{-\tau s}}{1+Ls} \quad (16)$$

Donde los coeficientes K, τ y L se obtienen de la respuesta del sistema en lazo abierto a una entrada escalón (figura 7), partiendo del sistema estabilizado en $y(t) = y_0$ para $u(t) = u_0$ se aplica una entrada escalón de u_0 a u_1 (el salto debe estar entre un 10% y un 20% del valor nominal) y se registra la respuesta de la salida hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación.

Los parámetros se pueden obtener de la respuesta mostrada en la figura 7:

$$\tau = t_1 - t_0 \quad (17)$$

$$L = t_2 - t_1 \quad (18)$$

$$K = \frac{y_1 - y_0}{u_1 - u_0} \quad (19)$$

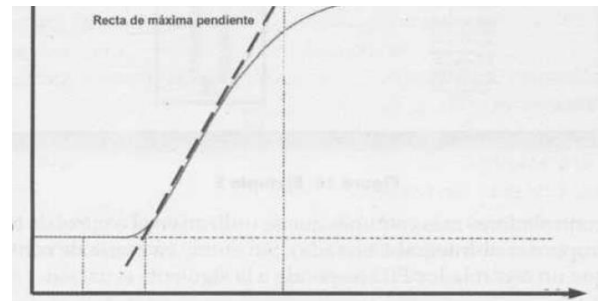


Fig. 7. Respuesta de salida ante una entrada escalón
Fuente: Los Autores

Basados en las tablas de Ziegler-Nichols (tabla 2), la relación de estos coeficientes con los parámetros del Controlador son:

TABLA 2.
SINTONIZACIÓN DE CONTROLADORES PID

Tipo	Kp	Ti	Td
P	T/L	INF	0
PI	0.9(T/L)	L/0.3	0
PID	1.2(T/L)	2L	0.5L

Fuente: Tomado del libro Ingeniería de Control Moderna

Una vez realizado el procedimiento a la planta, se obtiene la respuesta mostrada en la figura 8, encontrándose allí los valores de las constantes con los que se diseñará el sistema.

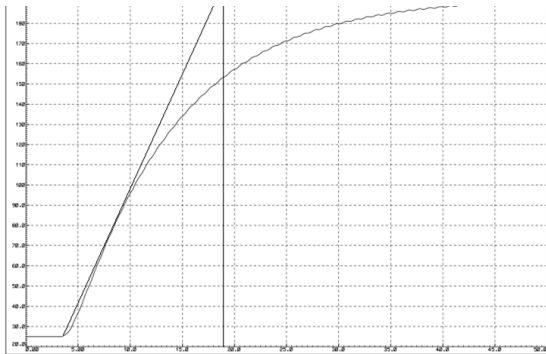


Fig. 8. Comportamiento del sistema
Fuente: Los Autores

$$K_0 = 83 \quad (20)$$

$$t_0 = 1.22 \quad (21)$$

$$y_0 = 15.17 \quad (22)$$

A partir de estos valores se realizan los cálculos para modelar el controlador y probarlo mediante MATLAB para observar su comportamiento. Los valores obtenidos se muestran a continuación:

$$k_p = 0.18 \quad (23)$$

$$T_d = 2.43 \quad (24)$$

$$T_i = 0.62 \quad (25)$$

Posteriormente se ajustó la ganancia proporcional a $K_p=0.76$, para generar un comportamiento óptimo, como se muestra en la figura 9. Ya teniendo definido estas ganancias y

el comportamiento del sistema se implementa el controlador PID con el Controlador Lógico Programable (PLC).

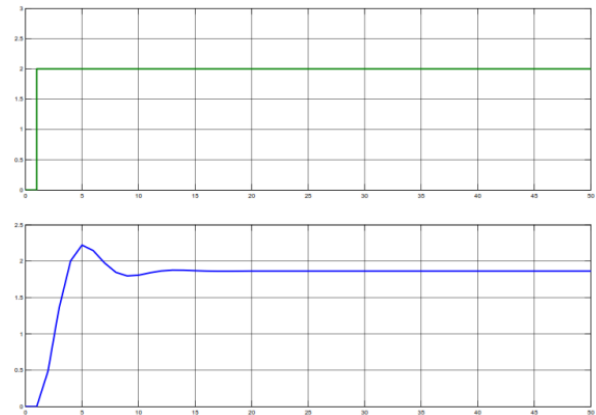


Fig. 9. Simulación respuesta del sistema
Fuente: Los Autores

SIMULACION DEL PLC

Para realizar la programación Ladder en el programa TIA PORTAL V13 se toma en consideración la instalación de dispositivo PLC y el PC system_1 conectados por la red PN/IE_1, como lo muestra la figura 10.

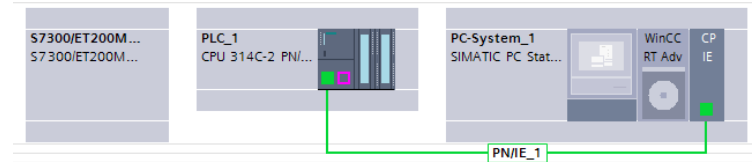


Fig. 10. Arquitectura de Control
Fuente: Los Autores

La programación está basada en documento Matriz C&E y los planos y PL-PRO-003-001, se crea la programación del programa principal y subprogramas.

En la ventana de Proceso se puede visualizar la activación y desactivación de las diferentes variables, también la activación de los equipos y niveles que maneja estos tanques. Ver figura 11.

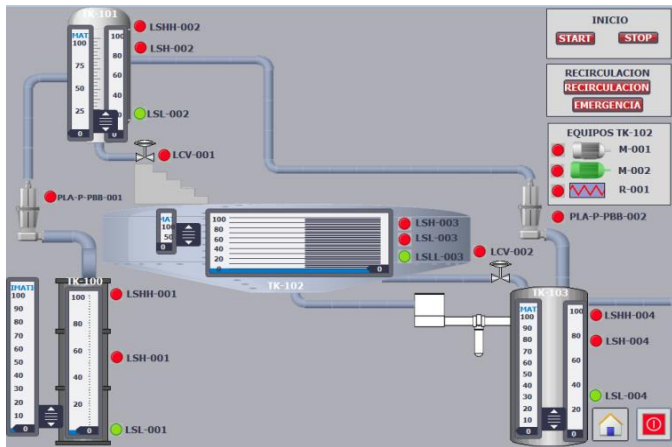


Fig. 11. Pantalla del proceso
Fuente: Los Autores

Inicio y parada del sistema Principal

El sistema cuenta con un botón de inicio de proceso, el cual es un condicional que se debe tener para los inicios de subprogramas del programa principal y que puede ser reseteado por el botón de parada, el cual al activarse crea una parada de emergencia para todos los sistemas y pone en estado reinicio el botón de inicio.

Sistema de almacenamiento de Agua

El sistema comienza con el llenado del pozo profundo POZ-100, al estar activo el nivel en alto LSH-001 / LSHH-001 de este y activo el sensor de nivel bajo LSL-002 del tanque TK-100, realiza la activación de la bomba PLA-P-BB-001; esta bomba se mantiene activa hasta que los sensores de nivel LSH-002 / LSHH-002 se activan y se apaga la bomba, también activando secuencialmente la válvula de control LCV-001 cuando las sensores de nivel LSL-003 estén activo y los sensores LSH-002 y LSHH-002 estén desactivados.

Este ciclo de activación y desactivación de la bomba PLA-P-PBB-001 y la válvula de control de nivel LCV-001 se realiza hasta que el tanque TK-101 se encuentre totalmente lleno activando los sensores de nivel LSL-003 y LSH-003. Cuando se activan estos sensores, comenzará a funcionar los contadores del motor de alimentación M-001 y motor de oxigena M-002, quienes brindarán la oxigenación y alimentación de los alevinos en determinados tiempos, por otra parte se tiene el sensor de temperatura PT100 el cual sensa la temperatura del agua en todo momento y entrega dicha señal al controlador PID para que efectúe el proceso de control a través de un calefactor.

Esta agua almacenada del TK-101 debe estar contenido una cierta cantidad de tiempo y luego debe ser cambiada, debido a la turbidez que presente por las defecaciones de los peces y la cantidad de cianuro en el agua producida por el intercambio de oxígeno de los peces, debido a esto hay un botón de

recirculación del agua, en la cual se activa según una programación de los temporizadores o manualmente.

Al activarse el botón de recirculación produce estado de parada para la bomba PLA-P-PBB-001 de la válvula de control de nivel LCV-001, y se activa la válvula de control de nivel LCV-002 teniendo en cuenta que los sensores LSL-003 o LSH-003 estén activos, esta permanecerá abierta hasta que se active el sensor de nivel bajo LSL-003, la cual hará que se cierre la válvula de control de nivel LCV-002 y reinicia el botón de recirculación, para que el sistema vuelva al estado de almacenamiento de agua.

El agua que sale del tanque TK-101 pasa por un filtro de sedimentos y luego pasa por un filtro de carbón activo, para así devolver el agua en las mejores condiciones óptimas y llevarlo al tanque TK-102 el cual almacena líquido hasta cierto límite y después de éste el agua es enviada al punto más cercano de un afluente.

El agua tratada depositada en el tanque TK-102 será reutilizada por medio de la activación del botón de recirculación en el cual activa la bomba PLA-PPB-002 siempre y cuando el sensor nivel alto LSH-004 y el sensor de nivel bajo LSL-002 realizando la función de almacenamiento de agua, hasta que el nivel de tanque TK-101 quede en estado alto.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente trabajo agradecen a la Universidad de los Llanos, quien a través de los últimos años ha influenciado significativamente en nuestras vidas permitiéndonos crecer como personas y profesionales mediante el desarrollo de proyectos de investigación realizados en la Escuela de Ingeniería con el grupo de Investigación en Tecnologías Abiertas (GITECX), y en nuestro caso, trabajamos buscando soluciones tecnológicas que faciliten las labores desarrolladas en la región de la Orinoquia Colombiana.

RECOMENDACIONES

Después de analizar los datos del proyecto realizado, se concluye la importancia de un sistema de medición del pH del agua, de tal forma que se puedan mejorar las condiciones de los tanques.

Podría efectuarse una expansión de la planta en paralelo, ya que el autómata programable tiene la capacidad de reconocimiento de varias señales.

Es importante que una eventual implementación de la planta se realice en un sitio que sea rico en fuentes hídricas subterráneas, para que los costos de implementación del pozo no sean trascendentales.

En lo relacionado con la calidad del agua, se deben hacer estudios con respecto al agua expulsada del pozo, para así determinar las características y forma de tratarla.

CONCLUSIONES

Monitorear y controlar el ambiente de los alevinos permite mejorar su etapa de maduración de tal manera que los tiempos de producción bajan considerablemente y así se logra mayor productividad.

Las herramientas de simulación son importantes para la programación en general, debido a que brinda la posibilidad de ver los fallos que se presentan y analizar la mejor opción de corregirlos, para que la implementación se desarrolle con las mejores condiciones.

Los costos de instalación de la planta dependerán de la ubicación geográfica y la profundidad del pozo profundo.

Los tiempos de reacción del sistema automatizado permiten que las condiciones del ambiente se establezcan en un menor tiempo ante alguna perturbación, logrando de esta manera que las condiciones de temperatura y nivel se encuentren en óptimas condiciones para el proceso de alimentación de alevino.

Establecer adecuadamente los tiempos de alimentación, además de la cantidad necesaria según el estado del alevino, permite un ahorro considerable de alimento ya que se proporcionará pequeñas cantidades para que el alevino lo consuma de la superficie, ya que en caso de llegar al fondo del estanque no será consumido, por lo tanto se desperdiciaría.

Por medio de estos sistemas de automatización se logran reducir los tiempos que interactúan el personal con los diferentes equipos y elementos, reduciendo así la accidentabilidad.

Para ejercer un mejor factor de limpieza y desinfección de los tanques, se requiere que haya más de un tanque de proceso.

REFERENCIAS

[1] Manual Básico de Piscicultura en Estanques. Dirección Nacional de Recursos Acuáticos. 2010. DINARA-FAO, 52 p. Montevideo-Uruguay. Consultado en: http://www.mgap.gub.uy/sites/default/files/multimedia/1959_manual.pdf

[2] Rocamora Pérez, Antonio. Acuicultura ¿El futuro de un sector?. 2011. Universidad de Alicante (España). Consultado en:

<https://web.ua.es/es/giecryal/documentos/alumnos/acuicultura.pdf?noCache1310199154253>

[3] Gómez Restrepo, Hernando José. Hacia la sostenibilidad y competitividad de la acuicultura colombiana. 2014. Excelsior Impresores S.A.S. Consultado en: <https://www.ptp.com.co/documentos/Libro%20PTP%20Ref.%20Acuicultura%20Colombiana2.pdf>

[4] Parrado Sanabria, Yineth Andrea. Historia de la Acuicultura en Colombia. Revista AquaTIC, n° 37, pp. 60-77. Año 2012. Revista científica de la Sociedad Española de Acuicultura. Consultado en: <file:///C:/Users/UNILLANOS/Downloads/146-272-1-SM.pdf>

[5] El cultivo de la tilapia roja (*Oreochromis sp.*) en estanques de tierra, fuente de proteína animal de excelente calidad. Boletín mensual. Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. MinAgricultura, número 21. 2014

[6] Construcción de estanques. http://www.elestanque.com/construccion/tipos_estanques.html

[7] De Luque Diaz, Jorge. Calidad de Agua. Calidad de agua en acuicultura. <https://es.slideshare.net/JorgeDiaz45/calidad-de-agua-en-acuicultura>

[8] Acedo Sánchez, Jorge. Instrumentación y Control Básico de Procesos. España. Ediciones Diaz de Santos. pp 227-243. 2006

[9] Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. Barcelona. Editorial Marcombo. Octava Edición, 2011. 594 p. 2011.

[10] Piedrafita Moreno, Ramón. Ingeniería de la Automatización Industrial. México. Alfaomega. 2da Edición ampliada y actualizada. pp 59-80. 2010

[11] Kuo, Benjamin. Sistemas de Control Automático. México. Séptima Edición. PEARSON Prentice Hall Hispanoamericana. 1996, 897 p.

[12] Katsuhiko, Ogata. Ingeniería de Control Moderna. Madrid. Cuarta Edición. Prentice Hall Hispanoamericana. 984 p. 2003

[13] Mandado Pérez, Enrique. Autómatas Programables y Sistema de Automatización. México. Alfaomega. 2010