

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA ELECTRÓNICO PARA MONITOREO Y CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA Y NIVEL DE AGUA EN UN TANQUE DE SUMINISTRO PARA INCUBADORAS DE OVAS Y LARVAS DE SISTEMAS ACUÁTICOS



OMAR YESID BELTRÁN G.
ingyesid@latinmail.com

JAVIER EDUARDO MARTINEZ B
ing_javmar@hotmail.com

Resumen

En este documento, se muestra de manera clara y breve el diseño e implementación mediante dispositivos electrónicos de un sistema para la medición y el control automático de la temperatura del agua en un tanque de suministro para incubadoras de ovas y larvas de sistemas acuáticos, además la implementación de un sistema de control on/off para el llenado automático del mismo, evitando así que éste se desocupe.

Con el presente sistema de control se consiguió dar mayor confiabilidad al proceso de incubación, se evita disponer de un operario permanente para que ejecute las labores de supervisión y control; además permite dotar a aquellas empresas, institutos o particulares que requieran de un instrumento de control competitivo tanto técnica como económicamente.

1. Introducción

La temperatura es una variable que afecta de manera directa la realización de algunos procesos, por tal razón el control automático se enfoca en su control de una manera eficaz.

Por tal razón, se realizó un control automático que permite mantener la temperatura para las incubadoras de ovas y larvas de sistemas acuáticos del Instituto de Acuicultura de los Llanos (Unillanos) en un rango ubicado entre $27^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.

La presentación del control es un modelo compacto, agradable y de fácil entendimiento en cuanto al monitoreo de las mediciones realizadas, es decir, existe una interfaz versátil con el usuario.

El presente trabajo reviste una importancia bastante significativa

porque permite establecer una interdisciplinaria y además es uno de los primeros en aplicar los conceptos de la teoría del control automático en la región de la Orinoquia y más aún que se da solución a un problema que se tiene en cuanto a la producción y desarrollo de ovas y larvas de sistemas acuáticos en el Instituto de Acuicultura de los Llanos (IALL) de Unillanos.

2. Fundamentos Teóricos

Veremos de manera clara algunos términos que fueron útiles para la realización de trabajo.

2.1 Introducción a los sistemas de control

El control automático ha aportado durante muchos años medios que han permitido obtener un desempeño óptimo en numerosos sistemas, se ha podido mejorar la productividad, aligerar la carga de operaciones rutinarias, y muchas otras ventajas que nos llevan a concluir que debemos tener un buen conocimiento en este campo.

En un sistema de control hablamos de términos muy importantes como son error, planta, señal digital, señal analógica, proceso y de los cuales depende el buen funcionamiento de nuestro sistema.

2.2 Sistemas de control realimentados

Un sistema que mantiene una relación establecida entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina *sistema de control realimentado*.

Un ejemplo sería el sistema control de temperatura de un invernadero. Midiendo la temperatura y comparándola con la referencia, un termostato activa o desactiva el equipo de calefacción o de enfriamiento para asegurar que la temperatura del invernadero se conserve en un nivel cómodo sin considerar las condiciones externas.

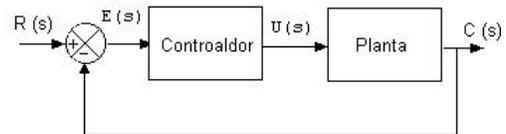


Figura 1. Sistema de control realimentado

2.3 Respuesta transitoria y respuesta en estado estable

La respuesta en el tiempo de un sistema de control consta de dos partes; la respuesta transitoria y la respuesta en estado estable. Por respuesta transitoria nos referimos a aquella que va del estado inicial al estado final. Por respuesta en estado estable, hacemos referencia a la forma como se comporta la salida del sistema conforme t tiende a infinito.

Un sistema de control lineal e invariante con el tiempo es estable si la salida termina por regresar a su estado de equilibrio cuando el sistema está sujeto a una condición inicial. Casi todos los controladores industriales emplean como fuente de energía la electricidad. Los controladores también pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de energía que utilizan en su operación, como neumáticos, hidráulicos o electrónicos.

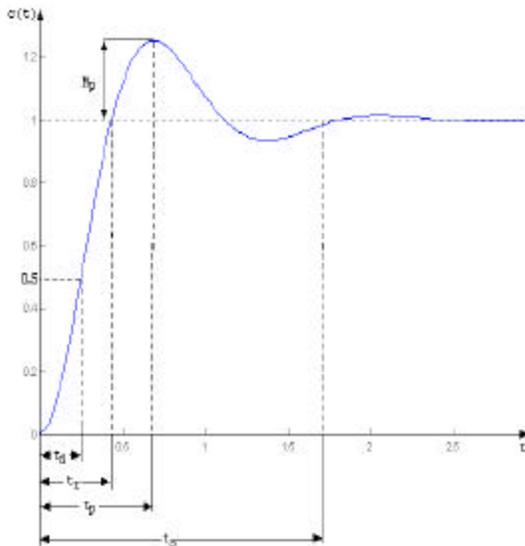


Figura 2. Curva de respuesta escalón unitario

2.4 Acciones básicas de control

Un controlador automático realiza una comparación de el valor real de la salida de una planta con la entrada de referencia “set point”, determina el error y produce una señal de control que lo reducirá a cero o a un valor pequeño. La manera en la cual el controlador automático produce la señal de control se denomina *acción de control*.

Los controladores industriales se clasifican, de acuerdo con sus acciones de control, como:

1. De dos posiciones o de encendido y apagado (on/off)
2. Proporcionales
3. Integrales
4. Proporcionales-Integrales
5. Proporcionales-Derivativos
6. Proporcionales-Integrales-Derivativos

2.5 Sensores

En todo proceso de automatización es necesario captar las magnitudes del sistema, para poder así saber el estado del proceso que estamos controlando.

Para ello empleamos los sensores o transductores, términos que se suelen emplear como sinónimos aunque el transductor engloba algo más amplio.

Se puede definir un transductor como un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital. No todos los transductores tienen por qué dar una salida en forma de señal eléctrica (ej. un termómetro), pero para aplicaciones industriales como las que nos ocupan suele ser lo más frecuente.

2.6 Calefactores

Cuando se desea efectuar calentamiento, tenemos muchas elecciones, ya que podemos estar hablando de un invernadero, un vivero, un estanque, un acuario, etc, en donde para cada uno de ellos el actuador puede variar, porque podemos hablar de resistencias para aire ó para inmersión en agua.

Si deseamos calentar líquidos podemos optar por una elección que son las resistencias de inmersión, éstas nos permiten ejecutar un buen trabajo.

2.7 Microcontrolador PIC

Los microcontroladores son dispositivos que permiten llevar a cabo numerosas tareas de manera satisfactoria.

Estos son muy usados en áreas como la medicina, las telecomunicaciones y sobre todo en automatización y control.

Son dispositivos bastante sencillos en cuanto a su funcionamiento.

El microcontrolador PIC16F877 de Microchip pertenece a una gran familia de microcontroladores de 8 bits (bus de datos) que tienen las siguientes características generales que los distinguen de otras familias:

- Arquitectura Harvard
- Tecnología RISC
- Tecnología CMOS

2.8 Optoacopladores

Un optoacoplador combina un dispositivo semiconductor formado por un fotoemisor, un fotoreceptor y entre ambos hay un camino por donde se transmite la luz. Todos estos elementos se encuentran dentro de un encapsulado que por lo general es del tipo DIP

La señal de entrada es aplicada al fotoemisor y la salida es tomada del fotoreceptor. Los optoacopladores son capaces de convertir una señal eléctrica en una señal luminosa modulada y volver a convertirla en una señal eléctrica. La gran ventaja de un optoacoplador reside en el aislamiento eléctrico que puede establecerse entre los circuitos de entrada y salida.

2.9 Tiristores

Un tiristor es uno de los tipos de dispositivos semiconductores más importantes. Los tiristores se utilizan en forma extensa en los circuitos electrónicos de potencia. Se operan como conmutadores biestables, operando de un estado no conductor a un estado conductor. Para muchas aplicaciones se puede suponer que los tiristores son interruptores o conmutadores ideales, aunque los tiristores prácticos exhiben ciertas características y limitaciones

2.10 Temperatura

La cantidad que nos dice que tan caliente o que tan frío está un objeto respecto a cierta referencia es la temperatura. Expresamos la temperatura por medio de un número que corresponde a una marca en cierta escala graduada.

Casi toda la materia se expande cuando aumenta su temperatura y se contrae cuando ésta disminuye. En la escala más usada se asigna el número cero a la temperatura de congelación y el número cien a la temperatura de ebullición del agua. Cada uno de los intervalos se denomina grados. Esta es la escala Celsius.

Durante mucho tiempo se ha reconocido la temperatura como un factor medioambiental importante a nivel celular y de tejidos en organismos para el mantenimiento del equilibrio biológico, es así, como encontramos una estrecha relación entre ésta y el proceso de desarrollo de las especies, diferenciando en los peces algunas características que hacen de la temperatura un factor primordial.

Lo anterior nos lleva a realizar un estudio en cuanto a su efecto en los peces, los cuales son animales de sangre fría. Esto significa que, al igual que las plantas, son incapaces de regular su propia temperatura, siendo esta la misma del medio en que viven. Por esto son muy dependientes de la temperatura del entorno. Con una temperatura inadecuada nuestros preciados inquilinos perderán vivacidad, apetito, colorido y aumentará su predisposición a las enfermedades. La salud y el ritmo de crecimiento de las plantas también dependen directamente de la temperatura.

Las larvas de especies tropicales puestas en una incubadora necesitan una temperatura que oscila entre 27°C y 28°C para su desarrollo. Después cada especie tendrá un rango más estrecho que le será más apropiado.

3. Análisis del trabajo

En la realización del proyecto se efectuó un análisis detallado de las condiciones en las cuales se deben mantener las ovas y larvas de sistemas acuáticos para su normal desarrollo y crecimiento, además las condiciones en las cuales se encuentran las incubadoras y por tanto los factores que las afectan.

De este modo se procedió a implementar el sistema de sensores que aportara la mejor precisión de tal modo que el sistema de control actuara de la mejor manera posible con una interfaz versátil y de fácil entendimiento por el usuario.

Para llevar a cabo todo lo anterior se debió recurrir a diferentes áreas que permitiera realizar el mejor análisis, es decir existió una buena interdisciplinariedad, lo que a su vez aportó para el desarrollo, aunque pequeño, del control automático en la región de la Orinoquia.

3.1 Diseño Electrónico

Analizaremos las diferentes etapas seguidas durante la realización del trabajo.

-Como primera medida se trató la adquisición de la temperatura, en la cual se tenían varias opciones pero se decidió por la resistencia de platino **RTD PT-100** ya que posee varias características que se acomodan al sistema, por ejemplo ofrecen una excelente precisión en un amplio rango de temperatura. Se encuentran disponibles por numerosos fabricantes con sus respectivas especificaciones y variedad de presentaciones de acuerdo a las aplicaciones más comunes.

El principio de operación es medir la resistencia de un elemento de platino. La PT 100 tiene una resistencia de 100ohms a 0°C y 138.4ohms a 100°C.



Figura 3. RTD PT 100

El puente de Wheatstone es utilizado para medir el valor óhmico del sensor (RTD PT 100), y el cual representa el valor de temperatura actual. Para implementar el puente de Wheatstone se hizo necesario conocer los valores óhmicos en los cuales trabaja el sensor

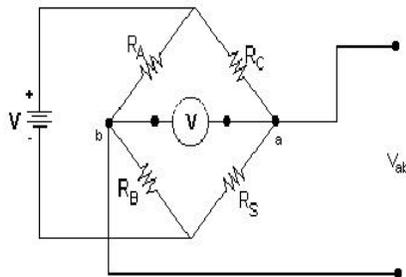


Figura 4. Puente de Wheatstone

-Un amplificador de instrumentación es un bloque de circuitos constituido por varios amplificadores operacionales que tiene una entrada con ganancia diferencial y con lazo cerrado de realimentación. Se trata de un circuito con la función primaria de amplificar con precisión la tensión aplicada a sus terminales.

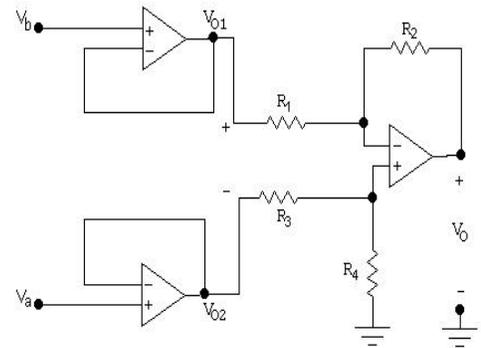


Figura 5. Amplificador de Instrumentación

La siguiente ecuación representa la salida del amplificador de instrumentación.

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times \left(\frac{R_4}{R_4 + R_3} \times V_1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \times V_2 \right)$$

si $R_1 = R_3$

y $R_2 = R_4$

Entonces reemplazando en la ecuación de V_o se obtiene:

$$V_o = G(V_a - V_b)$$

-La etapa de potencia se ejecuta de acuerdo a una señal de control proporcionada por el microcontrolador PIC, ésta señal da la orden a un optotriac de permitir el flujo de corriente hacia el triac y éste a su vez conmute al estado de ON y accione los calefactores. La señal de control proviene de un modulador de anchura de pulsos interno en el PIC, por lo cual la intensidad promedio a la carga

depende del porcentaje que la señal del modulador se encuentre en ON.

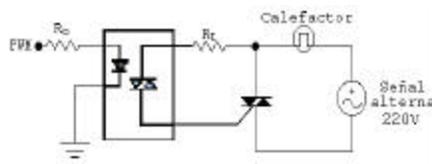


Figura 6. Etapa de potencia

Controlador PI

Como primera medida se analizará la forma como se obtienen los parámetros del controlador PI y luego la manera de ejecutarlos en el PIC.

De acuerdo a las reglas de sintonización de Ziegler – Nichols debemos encontrar:

$$PI = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

$$PI = K_p + \frac{K_p}{T_i s}$$

donde

$$K_i = \frac{K_p}{T_i}$$

Se ha decidido implementar un controlador PI, ya que la acción derivativa evita el sobreimpulso y para este caso se presenta una respuesta lenta.

La función de transferencia de la planta queda expresada de la siguiente manera:

$$F = \frac{K}{Ts + 1} e^{-L}$$

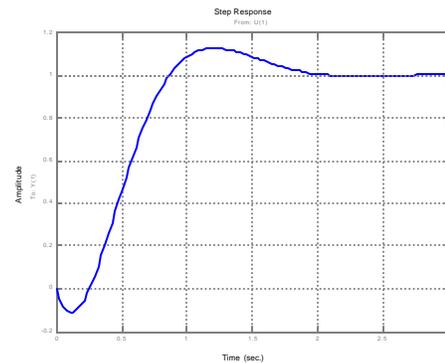
Después de realizar los cálculos respectivos, encontramos que la función de transferencia queda expresada como:

$$G_c(s) = \frac{16s + 7}{s}$$

y la función de la planta

$$\frac{C(s)}{U(s)} = \frac{0.315}{2.46s + 1} e^{-0.32}$$

Las simulaciones obtenidas de acuerdo a estas funciones de transferencia son:



Respuesta paso

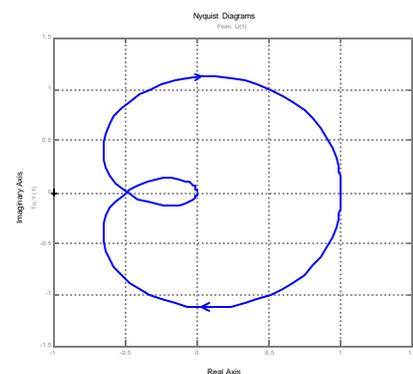


Diagrama de Nyquist

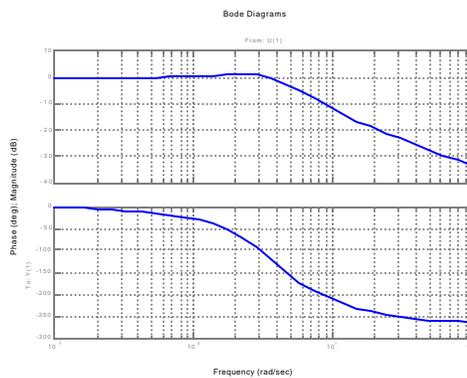


Diagrama de Bode
Figura 7. Simulaciones en MATLAB

Se deben encontrar las ecuaciones de recurrencia las cuales ejecutan las acciones de control de manera discreta, para implementarlas en el microcontrolador PIC.

A continuación se sintetiza:

- ✓ $e(k)$: error actuante en el instante (k)
- ✓ $e(k-1)$: error actuante en el instante anterior (k-1)
- ✓ $u(k)$: señal de control actuante en el instante (k)
- ✓ $u(k-1)$: señal de control actuante en el instante anterior (k-1)
- ✓ T: periodo de muestreo

entonces;

Señal de control $u(t)$ para un controlador PI

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right]$$

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

DISCRETIZACIÓN

Acción Proporcional

$$u(t) = K_p e(t)$$

$$u(k) = K_p e(k)$$

Acción Integral

$$u(t) = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Aplicando el método de diferencias en retraso

$$u(k) = u(k-1) + K_i * T [e(k) + e(k-1)]$$

Para la implementación digital se tiene:

$$K_p = 16$$

$$K_i = 7$$

$$P = K_p * e(k)$$

$$I = ([e(k) + e(k-1)] * K_i * T) + u(k-1)$$

$$u(k) = P + I$$

Control de nivel

En el diseño del control del nivel de agua en el tanque de suministro, se optó por implementar la acción de control de dos posiciones o de encendido y apagado (On/Off).

El sistema de control de encendido y de apagado consta de un interruptor de flotador tipo microswitch cuya función consiste básicamente en permitir el flujo de corriente hacia la electrobomba mediante la conmutación a encendido de un TRIAC BTA41 600B, cuando se alcanza un nivel de set point establecido. En el momento en que se alcanza el llenado, el flotador conmuta al TRIAC al estado de apagado logrando por consiguiente que cese el flujo de corriente hacia la electrobomba.



Figura 8. Interruptor de flotador tipo microswitch

El circuito electrónico de control de encendido de la electrobomba es básicamente el usado en la etapa de potencia para los calefactores, tan solo que el encendido del TRIAC depende del flotador que está ubicado en serie con la resistencia del optoacoplador.

importar la hora del día; podemos entonces

3.2 Programación del PIC

En el microcontrolador PIC 16F877, se llevará a cabo la acción de control.

El tipo de control seleccionado es un controlador PI, para lo cual se encontraron las acciones de control de manera discreta para este tipo de controlador específico, es decir se tuvieron que hallar las ecuaciones de recurrencia que me ejecutan dicho control. Además en el microcontrolador se realizaron paralelamente los programas de control de la pantalla de cristal líquido, teclado matricial, conversor A/D y un modulador de anchura de pulsos que es en sí la señal de control PI que controlará los calefactores.

4. Análisis de Resultados

La temperatura del agua de las incubadoras varía considerablemente de acuerdo a la hora del día siendo muy perjudicial para las ovas y larvas estas variaciones especialmente en la madrugada, las cuales son consideradas horas críticas, además que en la mayoría del tiempo la temperatura se encuentra por fuera del rango óptimo para las ovas y larvas.

Por tal razón el sistema de control implementado mejoró de manera considerable estas variaciones porque permite mantener a temperatura en el rango entre 27°C - 28°C sin importar la hora del día, lo cual permitió aumentar el porcentaje de sobrevivencia.

La temperatura se mantiene dentro del rango deseado, es decir 27°C - 28°C sin queden solo en teoría, convirtiéndose en

afirmar que el sistema de control es muy útil para procesos de incubación porque aumenta el porcentaje de sobrevivencia, además la interfaz con el usuario es bastante versátil y de fácil entendimiento.

En el control de nivel, el sistema bombea de manera automática de acuerdo a un rango (set point) establecido, el cual es pequeño porque no se debe dejar que el tanque se baje de un nivel considerable ya que al bombear nuevamente se presenta un retardo en cuanto al control de la temperatura debido a que el agua que se bombea proviene de un estanque, por lo que se encuentra a una temperatura baja lo que afecta el agua del sistema, la cual ya se encuentra en la temperatura adecuada.

5. Conclusiones

El diseño y desarrollo del trabajo permitió enriquecer el campo de la automatización y control en la región de la orinoquia debido a la positiva aplicación de tecnología.

Se logró dar mayor confiabilidad a los procesos de incubación de ovas y larvas de sistemas acuáticos realizados en el Instituto de Acuicultura de los Llanos (IALL) de Unillanos.

Un aspecto que se considera muy positivo consistió en que se ligaron diferentes disciplinas para obtener el trabajo final, lo que a su vez dio motivación para la puesta en marcha de diferentes proyectos

6. Recomendaciones

Se sugiere que las clases impartidas en las aulas de clase en áreas como la electrónica industrial, las telecomunicaciones no se.

rutinarias, sin pasar al plano del trabajo práctico y por tanto sea más difícil iniciar algún proyecto sobre éstas.

En cuanto al Instituto de Acuicultura de los Llanos es conveniente que recurran al material humano presente en la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería a nivel estudiantil para dar solución a las numerosas falencias en diferentes procesos; además que es muy importante ligar las diferentes disciplinas.

Se hace necesario mejorar en la Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería los procesos metodológicos de investigación para poder así realizar diferentes proyectos en menor tiempo.

Bibliografía

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Normas Colombianas para la presentación de tesis de grado. Bogotá. ICONTEC. 1996

KUO, Benjamín C. Sistemas de Control Digital. México. 1ª Edición. CECSA. 1997

MALONEY, Timothy J. Electrónica Industrial Moderna. México. 3ª Edición. Prentice Hall Hispanoamericana. 1997

OGATA, Katsuhiko. Ingeniería de Control Moderna. México. 3ª Edición. Prentice Hall Hispanoamericana. 1998

ZEMANSKY, Mark. Calor y termodinámica. España. 3ª Edición. Mc Graw Hill. 1968

www.microchip.com: Microcontroladores PIC