

**SYSTEM OF CONTROL PID ANALOGOUS AND DIGITAL FOR A
GREENHOUSE****SISTEMA DE CONTROL PID ANÁLOGO Y DIGITAL PARA UN
INVERNADERO**

**Evelyn Stella Ayala Cubillos, Diana Marcela Guayacundo M.
Carlos Andrés Rodríguez**

Universidad Santo Tomás

Seccional Tunja

Calle 19 No. 11-64 Centro

evelyn_ayalac@yahoo.com, dimaguma@hotmail.com, candresrod@hotmail.com

Abstract: This project, is a comparison between ON-OFF control actions and other more complex as the analogous PID and digital PID, applied to a greenhouse makes to scale, in which three variables are controlled: temperature, lighting and humidity. Keeping in mind, that one of the main lines of the Colombian economy corresponds to the agriculture, and the imminent need to use the technology as middle to guarantee the competitiveness of the products the techniques of control of this type, they can be very useful for reduce costs and to obtain significant indices of quality and this only can obtain to making use of the talent of the students and the professionals.

Resumen: Este proyecto, es una comparación entre acciones de control ON-OFF y otras un poco más complejas como el PID análogo y digital, aplicadas a un invernadero elaborado a escala, en el cual se controlan tres variables: temperatura, iluminación y humedad. Teniendo en cuenta, que una de las principales líneas de la economía colombiana corresponde a la agricultura, y la inminente necesidad de usar la tecnología como medio para garantizar la competitividad de los productos las técnicas de control de este tipo, pueden ser muy útiles para reducir costos y obtener índices significativos de calidad y esto solo se puede lograr haciendo uso del ingenio de los estudiantes y los profesionales colombianos.

Key words: Analogous, control, digital, on-off, PID, system, variables.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, una de las principales líneas de la economía tiene que ver con las actividades agrícolas. En un sector como este, se necesita de actualización constante, en lo que se refiere a técnicas, maquinaria y equipos para que los productos continúen siendo competitivos en el

mercado. Parte de esta tecnología, puede llegar a estar al alcance de muchos sectores agrícolas, ya que no es necesario importarla porque Colombia posee el talento para producir sus propias técnicas y dispositivos para esta área. El talento se encuentra en las aulas y en los profesionales colombianos.

Desde el punto de vista de la Ingeniería Electrónica, para la tecnificación del sector agropecuario existen diversas opciones: desde la electrónica básica que puede implementar un sistema simple de riego, hasta la teoría automatización y de control análogo y digital.

El proyecto que se expone a continuación, es una de esas opciones que puede ayudar al sector agrícola a tecnificarse, se trata de un control para un invernadero, el sistema consta de dos partes una corresponde a un control análogo, y la otra a la aplicación de la teoría de control digital. El proyecto fue desarrollado a escala, por lo que se generó un ambiente, donde se efectúa el control sobre tres variables: temperatura, humedad del suelo e intensidad lumínica y se combinan diferentes acciones de control como ON-OFF, para la humedad y PID, esta última implementada de manera análoga y digital, para la temperatura y la luminosidad respectivamente, todo esto con el fin de realizar una comparación entre estos tipos de acción de control.

2. VARIABLES Y SENSORES PARA EL CONTROL DEL INVERNADERO

Existen muchas variables que pueden controlarse en un invernadero, por ejemplo riego, humedad de la tierra, fertilizantes, intensidad lumínica, calidad del aire, temperatura, entre otras. De todas estas posibles variables se seleccionaron tres: humedad, luminosidad y temperatura.

2.1 Temperatura

Controlar la temperatura, implica determinar los niveles máximos o mínimos permitidos para un determinado cultivo. Para este caso se estableció un rango de temperatura entre los +23°C y +27°C y como sensor, se utilizó el circuito integrado de precisión para medición de temperatura en grados centígrados, LM35. Este sensor, posee un factor de escala lineal +10mV por grado y un rango de operación entre los -55°C y +150°C.

El primer paso, es tomar las señales de los sensores (LM35) que se encuentran ubicados estratégicamente dentro del invernadero. La señal se envía a un circuito promediador. La señal resultante se acondiciona entre 0 y 5V, esta señal es llevada a un circuito restador, para obtener el error que es la diferencia entre el valor deseado de

temperatura y el nivel actual en el invernadero. Finalmente, esta señal ingresa al circuito de control análogo de acción proporcional, integral y derivativa.

2.2. Intensidad lumínica

El principio físico, en el cual se basa este control corresponde a: "La iluminación de una superficie es el flujo luminoso que recibe la unidad de área de la superficie y su unidad es el **lux**", (Acosta, 1965), entonces se tiene:

$$A = \frac{I}{d^2} \quad (1)$$

En donde:

A= Iluminación (en lux)

I=Intensidad luminosa (en bujías)

d=distancia (m).

Una bujía equivale a 1.1 W

La ventana de trabajo para efectuar el control se encuentra entre los 4000 lux y los 1000 lux. Como sensor se emplearon fotoceldas, las cuales son resistencias variables de acuerdo al nivel de luz que sobre ellas incide. A menor iluminación, mayor resistencia y a mayor iluminación menor resistencia.

Conectando cada fotocelda a un circuito resistivo de valor conocido, se obtienen diferentes niveles de voltaje en función de la intensidad luminosa y luego esta red se conecta a un circuito seguidor de voltaje para acoplar impedancias. Después, se procede igual que en el caso de la temperatura, se obtiene el error que es la diferencia entre el valor deseado de luminosidad ('traducido' a voltaje de 0V a 5V) y el nivel existente en el invernadero.

2.3. Humedad

La tierra posee una gran resistencia, del orden de los MΩ, pero si esta es humedecida variará su resistencia eléctrica en forma considerable. Por lo cual, para la realización de la medición de la humedad se utilizan un par de electrodos que envían una señal para la activación de electroválvulas para realizar el riego donde este sea necesario. Cabe aclarar, que la resistencia de un terreno se encuentra en función de su área, debido a que el trabajo fue efectuado a escala se realizaron las mediciones correspondientes y se estableció 800 Ω, para terreno seco (valor medio) y entre 80Ω y 160Ω como valor óptimo de humedad, siendo 120Ω el valor medio.

3. ACTUADORES PARA TEMPERATURA, LUMINOSIDAD Y HUMEDAD

La señal de control para cada uno de los sistemas debe ser enviada a un actuador, que en este caso se trata de una resistencia de 70Ω que permitirá la calefacción del sistema, dos bombillos para la luminosidad y una electro-válvula de 12VDC.

Con un control de fase, se genera la señal para los actuadores de luminosidad y temperatura, así la potencia hacia la carga queda determinado por el retraso del ángulo de disparo del TRIAC.

Para la electro-válvula, se empleó un circuito amplificador de corriente y un opto-acoplador, de tal forma que el circuito comparador, anteriormente explicado, envía una señal de activación a la base de un transistor que trabaja en corte y saturación para la activación de la electro-válvula.

4. SINTONIZACIÓN A PARTIR DE LA CURVA DE REACCIÓN

El paso siguiente para el lazo de control corresponde a la *sintonización*, proceso en el cual se determinaron los parámetros del controlador necesarios para lograr el comportamiento deseado del sistema.

En el caso del control de humedad, la acción de control es de tipo ON-OFF, por lo que no requiere de un sistema complejo.

Para el control de temperatura y luminosidad es necesario realizar la sintonización de la planta, para implementar el controlador PID a partir de las curvas de reacción de cada sistema. Esto equivale a operar la planta en modo 'manual' o *método de lazo abierto*. (Ogata, 1996). Primero se identifican los sistemas como plantas de primer orden, tanto para la temperatura como para la luminosidad, el proceso seguido puede describirse de la siguiente manera:

1. Estabilizar el sistema en un valor conocido.
 2. Aplicar un escalón a la planta y mantenerlo.
 3. Observar la señal en los sensores.
 4. Registrar el cambio en amplitud de la señal de tensión, hasta lograr la estabilidad de la misma.
- Con este procedimiento, se determinaron el valor de los parámetros correspondientes a la función de transferencia de primer orden. La ganancia del

sistema K y el tiempo característico del sistema τ .

$$G(s) = \frac{k}{\tau s + 1} \quad (2)$$

5. DISEÑO DE LOS CONTROLADORES DEL SISTEMA

5.1. Control de humedad

La acción de control utilizada para esta variable, como se mencionó anteriormente, es de tipo ON-OFF. La medición de la humedad, se realiza usando un par de electrodos que se conectan a un circuito comparador, el cual previamente se le ajusta el rango de humedad necesaria para el tipo de cultivo, de acuerdo con su equivalencia en resistividad. La salida del comparador enviará o no una señal a la etapa de potencia, para activar las electro-válvulas y realizar el riego donde este sea necesario. Cuando se alcanza el valor óptimo de humedad, el circuito se desactivará inmediatamente.

En la siguiente tabla, se muestran diferentes datos de resistividad de acuerdo al tipo de terreno que se selecciona según el cultivo.

Tabla 1. Resistividad de diferentes terrenos.

Fuente:

PROCAINASA, disponible en internet en :
www.procainsa.com/informes/informe-estaciones%20de%20servicio.html

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISITIVIDAD Ohm x m
Terrenos pantanosos	2 a 30
Limos	20 a 100
Humus	10 a 150
Tierra arenosa con humedad	200
Fango arenoso	150
Suelos secos	300 a 900
Arenas	1 Mega

5.2. Control de temperatura y lumínico

Con la función de transferencia determinada para ambos casos, tanto luminosidad como temperatura, usando SIMULINK y el sistema de lazo cerrado propuesto por **Ziegler y Nichols**, (Kuo,1996), y recurriendo a un controlador puramente

proporcional, se procede a hallar los parámetros del controlador

La constante proporcional crítica se halló de manera empírica. Comenzando poco a poco a aumentar la ganancia del sistema, se logra que este entre en una oscilación mantenida ante un cambio de escalón en el valor deseado. Ese valor de ganancia corresponde

Tabla 2. Ecuaciones de Ziegler y Nichols, para la determinación de las constantes del controlador PID

	K_p	T_i	T_d	K_i	K_d
PID	$0.6 * K_{p_{crít}}$	$0.5 * T_{crít}$	$0.12 * T_{crít}$	K_p / T_i	$K_p * T_d$

a la constante proporcional crítica, que para el caso del control lumínico corresponde a 120, por ejemplo, y la cual produce dicha oscilación que posee un período crítico ($T_{crít}$) y que permitió finalmente la sintonización y el cálculo de parámetros del controlador *PID*, de acuerdo con la tabla 2.

5.3 Diseño del controlador análogo para la temperatura

Determinadas las constantes para el sistema de temperatura y luminosidad, se procedió al diseño de los controladores PID para cada una de estas variables.

Para la temperatura, el control PID diseñado fue de tipo análogo, usando amplificadores operacionales, en cada una de las configuraciones correspondientes: proporcional, integral y derivativo. La estructura del sistema en lazo cerrado se puede apreciar en el diagrama de bloques en la figura 1

El circuito del controlador se diseñó usando amplificadores operacionales y aparece en la figura 2. Su diseño se encuentra en función de las constantes del PID y que fueron determinadas previamente usando el método de sintonización de Ziegler y Nichols.

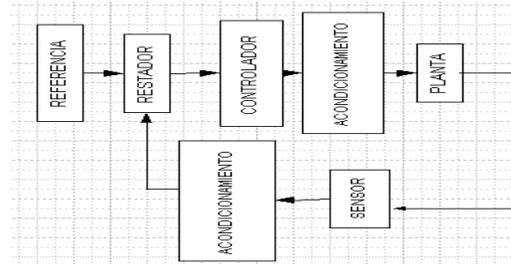


Fig 1. Diagrama de bloques para el sistema para el control de temperatura

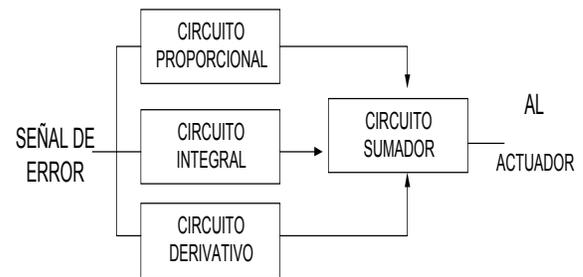


Fig. 2. Controlador PID análogo, para la temperatura.

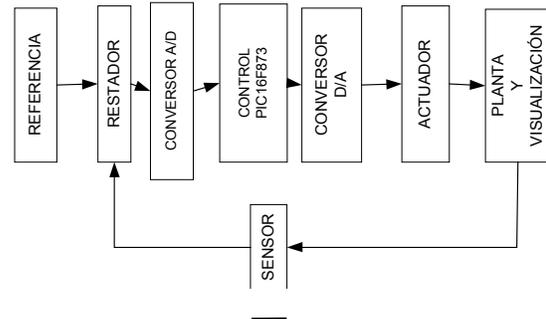


Fig 3. Diagrama de bloques para el control digital.

5.4 Diseño del controlador digital para la luminosidad

Para el control lumínico, se optó por un controlador digital PID cuyo diagrama de bloques aparece en la figura 3.

Previamente, se determinó la función de transferencia, para la planta para la variable lumínica, por medio del método de sintonización de Ziegler y Nichols, ya descrito.

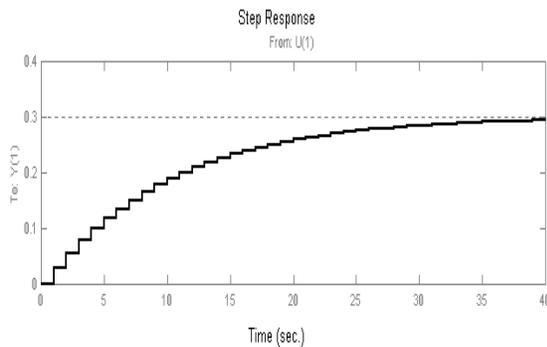


Fig. 4. Comportamiento del sistema, ante una entrada escalón, después de discretizar

La función de transferencia, que se encuentra en términos de S , se transformó a términos de Z , obteniendo su discretización. Se realizó la simulación utilizando MATLAB y SIMULINK, para determinar la respuesta del sistema y realizar algunos ajustes.

Ya conocidas las constantes K_p , K_i y K_d y la función de transferencia análoga, con el fin de realizar el diseño del controlador digital se usó la ecuación recursiva, (Kuo, 1996), para desarrollar el algoritmo de programación. Dicha ecuación de acuerdo con la teoría de control digital cual corresponde a:

$$U(z, Tm) = \alpha_0 * E(z, Tm) + \alpha_1 * E(z, Tm) * Z^{-1} + \alpha_2 * E(z, Tm) * Z^{-2} + U(z, Tm) * Z^{-1} \quad (3)$$

$$\alpha_0 = Kp + \frac{Ki * Tm}{2} + \frac{Kd}{Tm} \quad (4)$$

$$\alpha_1 = \frac{Ki * Tm}{2} - Kp - 2 * \frac{Kd}{Tm} \quad (5)$$

$$\alpha_2 = \frac{KD}{Tm} \quad (6)$$

$$U(kTm) = \alpha_0 * e(kTm) + \alpha_1 * \overline{(k-1Tm)} + \alpha_2 * \overline{(k-2Tm)} + U(\overline{(k-1Tm)}) \quad (7)$$

En donde, Tm es el tiempo de muestreo del sistema y se encuentra en función de τ . Con Tm , obtenemos la frecuencia de muestreo fm y que de acuerdo al Teorema del muestreo de Nyquist debe cumplir

con: $fmuestreo > 2 * fsistema$.

El tiempo de muestreo elegido fue de diez (10) veces la frecuencia del sistema, de tal forma que el número de muestras tomadas del sistema no sea excesivo ni insuficiente y garantice el adecuado funcionamiento.

El algoritmo de control, con base en la ecuación recursiva, corresponde al diagrama de flujo, de la figura 5. Según la ecuación (7), -ecuación recursiva-, algunos de sus términos poseen desplazamientos, que equivale a su existencia o no en un instante dado, dentro de la ejecución dentro del programa, de

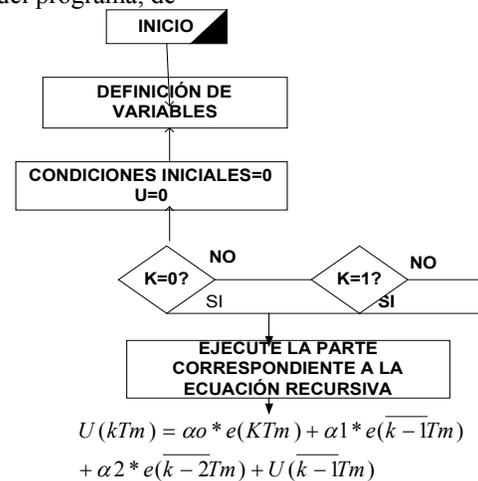


Fig. 5. Diagrama de flujo, estructura general de acuerdo a la ecuación recursiva

ahí la necesidad de preguntar por $K=0$, $K=1$ y $K \neq 0, 1$. Después de esto, el programa determinará las instrucciones necesarias para ejecutar los comandos que corresponden a una parte o la totalidad de la ecuación que describe el controlador.

El programa se desarrolló usando MPLAB, ya que se empleó el microcontrolador PIC16F873. Este programa desarrolla subrutinas de multiplicación, sumas y restas, que describen la ecuación recursiva del sistema, utilizando las constantes K_p , K_i y K_d y el tiempo de muestreo (Tm). Tm debe sincronizarse con el tiempo que tarda la conversión y la frecuencia con que se va a realizar el muestreo elegido. Este tiempo se logra utilizando bucles de programación que generan los retardos para cumplir el requerimiento del sistema y generar finalmente la señal de control $PID(U)$, que debe convertirse a una señal análoga debido a las

características análogas del actuador.

En la figura 6, se observa la respuesta del sistema, para una referencia (+3) y como se estabiliza rápidamente después de presentar una oscilación, que en comparación a un PID análogo para la temperatura, es mucho menor y se consigue la rápida estabilización. Este comportamiento no solo se debe a las características de cada variable sino al sistema de control utilizado.

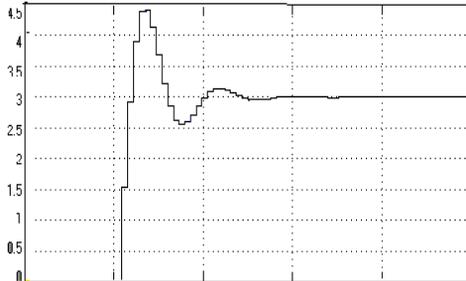


Fig.6. Respuesta del sistema de luminosidad usando el controlador PID digital.

6. CONCLUSIONES

1. El objetivo de cualquier teoría, es su aplicación en algún sistema real, la teoría de control no es ajena a ello. En esta ocasión la aplicación de los conceptos de control análogo y digital pueden llegar a contribuir directamente con sectores específicos de la economía mejorando las técnicas utilizadas. Esto no solo aplica para la industria, sino en otras áreas como la agricultura, haciendo que esta línea de la economía del país se pueda tecnificar cada vez más, de tal forma que la producción sea mayor y de mejor calidad. Esto se puede lograr implementando técnicas que son capaces de solucionar, al menos en parte, algunos problemas que se presentan en los cultivos como las altas y bajas temperaturas, con este proyecto se demuestra que aplicando la ingeniería es posible construir sistemas capaces de controlar diferentes variables a bajos costos y con buenos resultados.
2. Uno de los objetivos de este proyecto, era diseñar e implementar dos controladores PID utilizando la teoría de control análogo y control digital, para comparar estas dos acciones de control. El control análogo, es

más económico, responde rápidamente, trabaja en tiempo real, no hay retrasos en el lazo de control que en algún momento dado pueden causar inestabilidad en el sistema de lazo cerrado, pero ocupa mucho más espacio ya que hay que implementar cada bloque por separado. En el control digital, debido a que la mayoría de todas las operaciones necesarias para generar el controlador se pueden hacer utilizando programación y gracias a la ventaja que ofrecen los dispositivos disponibles en el mercado, conversores A/D, generadores de señales PWM, basta con acondicionar las señales de los sensores, ingresarlas al microcontrolador para ejecutar el algoritmo de control y generar la señal PWM o la señal para el control de fase, para los actuadores, ahorrando espacio y garantizando la versatilidad, ya que puede modificarse el sistema fácilmente.

3. El hecho de implementar un control simple como el ON-OFF, permitió realizar un paralelo entre una acción de control mucho más elaborada como el control PID, que aunque tienen un grado de dificultad ofrece ciertas ventajas frente a un control TODO-NADA, como el implementado para la humedad. Esto implica un desgaste de los componentes, disminuyendo la vida útil de los dispositivos utilizados como actuadores. Mientras que utilizando una acción de control PID, disminuye la respuesta transitoria, el error estacionario tiende a cero y amortigua los sobre-picos, ventajas que son muy favorables a la hora de elegir la acción de control más apropiada.
4. Por las características del sistema, puede trabajarse con controladores de tipo proporcional o proporcional-integral o proporcional derivativo, disminuyendo considerablemente la implementación del control, pero otro de los objetivos de este proyecto era comparar la acción de control PID análogo frente a la digital, utilizando dos (2) variables diferentes: temperatura y luminosidad y mostrar el procedimiento y los resultados obtenidos.

Adicionalmente se implementó un control ON-OFF, para la humedad como tercera variable

alternativa de control. Igualmente puede llegar a implementarse usando un control P, PI, PD o inclusive PID, en el futuro. Además, se pueden desarrollar los controladores para otras variables que en un cultivo son igualmente importantes a las tratadas en este proyecto.

REFERENCIAS

- Acosta, V. Introducción a la física II. Bogotá: Publicaciones Cultural Colombiana. 1965 .
- Kuo, B. (1997). Sistemas de control digital. Compañía Editorial Continental. México.1997.
- Ogata, K. (1996) Sistemas de Control Discreto. Pearson.1996.