# DESIGN OF A LIGHTING CONTROL SYSTEM FOR THE POULTRY HOUSES IN THE EXPERIMENTAL FARM OF FRANCISCO DE PAULA SANTANDER UNIVERSITY - OCAÑA (UFPSO)

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN PARA LOS GALPONES AVÍCOLAS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UFPSO

**Ing. Juan Fernando Pérez Villegas, Ing. Fernely Martínez Murcia, MSc. July Andrea Gómez Camperos**

**Universidad Francisco de Paula Santander - Sede Ocaña.**
Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación INGAP.
Tel.: (+57-7) 569 0088 Ext. 146 Fax: Ext, 104.
E-mail: { jfperezv, jagomezc }@ufpso.edu.co, fermamu@hotmail.com

**Abstract:** In this document a closed loop control system for lighting in a poultry farm is proposed, where the luminosity conditions (natural and artificial) present in the place, as well as the number of birds and their distribution in the poultry farm are taken into account. After analyzing the information obtained, a control system is developed with the help of MatLab in order to determine the second order transfer function that governs the behavior of the plant and to establish a proportional, integral and derivative action (PID) that controls the system. Finally, a PLC Simatic S7 1200-Siemens is chosen as a control instrument, which is responsible for the internal processing of lighting control.

**Keywords:** Closed loop control, MatLab, Transfer function, PID, Programmable logic control (PLC).

**Resumen:** En este documento se plantea un sistema de control en lazo cerrado para la iluminación en un galpón avícola, considerando las condiciones de luminosidad (natural y artificial) presentes en el lugar, así como la cantidad de aves y su distribución en el galpón. Luego de analizar la información obtenida, se desarrolla un sistema de control con ayuda de MatLab para determinar la función de transferencia de segundo orden que rige el comportamiento de la planta y estableciendo una acción proporcional integral y derivativa (PID) que controla el sistema. Por último, se escoge un PLC Simatic S7 1200 Siemens como instrumento de control, el cual se encarga del procesamiento interno del control de la iluminación.

**Palabras clave:** Control en lazo cerrado, MatLab, Función de transferencia, PID, Control lógico programable (PLC).

## 1. INTRODUCION

De los aspectos menos considerados en las instalaciones para pollos, se encuentra la iluminación artificial. Una causa de este problema podría ser que solo se tiene en cuenta la iluminación para permitir el trabajo dentro de los galpones cuando no hay suficiente luz natural, situando “adrede” cierta cantidad de puntos de luz por encima o por debajo de lo que realmente requieren las aves. (F. Revidatti, 2005)

Para lograr que los pollos dispongan del tiempo suficiente y realicen sus funciones vitales, comer y beber; se requiere la presencia de luz. Es por esto, que durante la vida del pollo no hay que atribuir a la luz otra misión fisiológica que no sea esta de permitirles ejercitar sus órganos de visión. Marcelino. (12 de 11 de 2016).

En la reproducción avícola, la luz es un factor fundamental. Para gran parte de los sistemas de albergue, la luz artificial es empleada para maximizar el crecimiento de las gallinas y la producción de las reproductoras. (Castelló, J. A. 2013)

En la granja experimental de la universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña (UFPSO), se lleva a cabo la cría de gallinas comerciales sin control de intensidad lumínica, el cual se traduce en un uso desfavorable de la iluminación en el galpón. En este lugar la iluminación no tiene mucha importancia, solo se hace estrictamente necesario para los trabajos técnicos por parte del personal encargado, lo cual impide un desarrollo tecnológico y económico y al mismo tiempo causa un déficit en el crecimiento a nivel competitivo por parte de la institución frente a otras empresas que prestan el mismo servicio y producto.

El galpón de gallinas comerciales en la granja experimental de la UFPSO, actualmente no cuenta con un sistema de control en la iluminación que ofrezca apoyo para la salud y el crecimiento estimado de las aves. Teniendo en cuenta lo anterior y pensando en la competitividad de la universidad frente a otros entes que brindan el mismo servicio en la región, se hace indispensable el mejoramiento del proceso productivo de las gallinas comerciales, dentro del cual se propone el diseño de un sistema de control que permita el uso eficiente de la iluminación en el alojamiento de las aves.

El sistema de control de la iluminación permite que los pollos dispongan del tiempo suficiente para realizar sus funciones vitales (Castelló, 2013), y puedan crecer y reproducirse de una forma adecuada, sin diferenciar el día de la noche; debido a que durante las 24 horas del día, la luz estará presente y con su respectiva intensidad, sin contar con la presencia de personal encargado para dicha labor, mejorando el proceso productivo y disminuyendo los costos de producción de la granja.

## 2. MÉTODOLOGIA

Un estudio realizado en el año 1991 por Tanaka y Hurnik (Embrapa Suínos e Aves, 2014), concluyó que el manejo de la iluminación luz/oscuridad/luz, debería ser gradual, para disminuir el estrés en las aves. En el estudio observaron el comportamiento de las aves en condiciones de iluminación diferentes, encendiendo y apagando las luces repentinamente y en el otro caso haciéndolo gradualmente. Se observó mayor estrés cuando la iluminación era apagada repentinamente ya que las gallinas no encontraban su sitio de descanso, por el contrario, cuando se reducía la iluminación gradualmente las gallinas retomaban su sitio de descanso tranquilamente. En cuanto al encendido de la iluminación repentino ocasionaba alarma y desorientación, los autores concluyeron que un encendido paulatino incrementaría el confort de las aves.

### *2.1 Diseño de Controladores*

Para tener en cuenta al diseñar un controlador se encuentran dos parámetros importantes: Margen de Ganancia (M_g o K_g ) y Margen de Fase (γ). En la figura 1 se puede apreciar el margen de fase de un sistema estable y de un sistema inestable en diagramas de Bode, diagramas polares. Tobón, J. C. (2014).

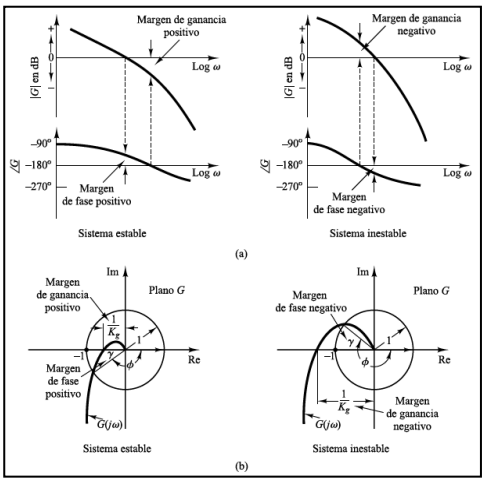



*Figura 1. Márgenes de fase y de ganancia de sistemas estables e inestables. (a) Diagramas de Bode, (b) diagramas polares.*
*Fuente. (Ogata, 2010)*

Los Controles Automáticos Industriales. De acuerdo con su acción de control se pueden clasificar en:

- Control de dos posiciones o de si-no (On-off)
- Controles Proporcionales (P)
- Controles Integrales (I)
- Controles Proporcionales e Integrales (PI)
- Controles Proporcionales y Derivativos (PD)
- Controles Proporcionales y Derivativos e Integrales (PID).

### 2.2 *Iluminación en los galpones de gallinas*.

Según Meza (2017), las gallinas son foto sensitivas, lo que quiere decir que necesitan la

percepción de la luz para estimular su crecimiento.

Por otro lado, afirma que las aves ovulan todos los días (o cada 26 horas), y el proceso de formación del huevo sucede generalmente en las horas de la madrugada; pero, si actualmente el galpón solo hace uso de la luz artificial para trabajos de mantenimiento, ¿el ave tiene que esperar hasta que amanezca para percibir la luz?, ¿El ave no está creando el huevo de la forma esperada?

Por esto y más, es importante la presencia de iluminación incluso en las horas de la noche y la madrugada.

Luego de realizar la visita al lugar, se logra identificar que la iluminación es suministrada en gran parte por luz natural. Los galpones cuentan con su interior con tres (3) plafones ubicados en la parte central superior, los cuales constan de tres (3) lámparas fluorescentes compactas de entre 25 watts y 45 watts (en algunos casos están en mal estado o inservibles); esta iluminación es utilizada solo para realizar trabajos de mantenimiento dentro de los galpones. En la figura 2, se puede apreciar la ubicación de las lámparas.



*Figura 2. Ubicación de iluminación artificial de los galpones.*
*Fuente. Granja UFPSO*

El espacio donde residen las gallinas comerciales de la UFPSO utiliza luz natural, debido a que cuenta con 4 galpones, los cuales están en condiciones abiertas; y al existir estas condiciones, las aves se agrupan en una sola zona del galpón (como se muestra en la figura 3), en la cual se encuentran la mayor concentración de luz, lo que conlleva a que no se realice un adecuado uso de las instalaciones; por lo que esta práctica resulta muy poco conveniente, porque esto afecta la alimentación, el descanso y la explotación de las aves.

Luego de conocer las condiciones del galpón en mención, se da paso al establecimiento de los tipos de control y los equipos de instrumentación necesarios para operar de forma automática la iluminación en los galpones avícolas de la granja de la UFPSO.



*Figura 3. Ubicación de las aves a un costado del galpón.*
*Fuente. Granja UFPSO*

## 3. CÁLCULOS DE LUMINOSIDAD

Los cálculos de luminosidad se realizaron de acuerdo con las condiciones iniciales encontradas y a las exigencias y necesidades por parte del galpón, se plantea la siguiente propuesta de iluminación:

A continuación, en la tabla 1 se muestran las dimensiones y color de las superficies internas presentes en el galpón.

*Tabla 1. Dimensiones del galpón avícola de la UFPSO*

| Dimensión | Color |
|---|---|
| Ancho = 12 m | Paredes = gris, claro |
| Largo = 25 m | Techo y Piso = gris, claro |
| Altura de las luminarias = 3m | |

*Fuente: Autores.*

En la figura 4, se pueden apreciar gráficamente las medidas tomadas del galpón. Para lograr un uso eficiente de la iluminación, es recomendable realizar el encerramiento de los galpones.

En la tabla 2 se muestra el valor promedio de nivel de iluminación que se requiere según el recinto y actividad que se recomienda para el diseño de un proyecto. El Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público (RETILAP), recomienda la aproximación para aquellas actividades que no se encuentren en el listado, acercándose a las condiciones requeridas.

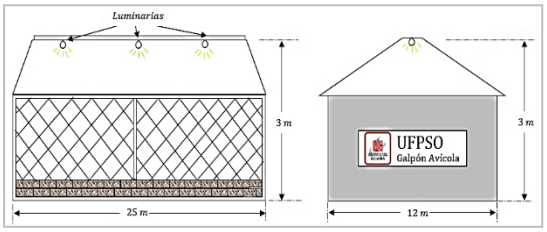



*Figura 4. Vista Lateral y Frontal del galpón avícola.*
*Fuente. Granja UFPSO*

En este caso, el más cercano para nuestro propósito es el de "áreas generales en las edificaciones". Este tipo de alumbrado consiste en iluminación directa, proporcionando uniformidad a toda el área iluminada. Se escoge el tipo de recinto y actividad, almacenes y bodegas, con un nivel mínimo de iluminancia de 100 lux.

*Tabla 2. Índice UGR máximo y Niveles de luminancia exigibles para diferentes áreas y actividades*

| TIPO DE RECINTO Y ACTIVIDAD | UGR$_L$ | NIVELES DE ILUMINANCIA (Lux) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Mínimo | Medio | Máximo |
| **Áreas generales en las edificaciones** | | | | |
| Áreas de circulación, corredores | 28 | 50 | 100 | 150 |
| Escaleras, escaleras mecánicas | 25 | 100 | 150 | 200 |
| Vestidores, Baños | 25 | 100 | 150 | 200 |
| Almacenes, Bodegas | 25 | 100 | 150 | 200 |
| **Talleres de ensamble** | | | | |
| Trabajo pesado, montaje de maquinaria pesada | 25 | 200 | 300 | 500 |
| Trabajo intermedio, ensamble de motores | 22 | 300 | 500 | 750 |
| Trabajo fino, ensamble de maquinaria electrónica | 19 | 500 | 750 | 1000 |
| Trabajo muy fino, ensamble de instrumentos | 16 | 1000 | 1500 | 2000 |
| **Procesos químicos** | | | | |
| Procesos automáticos | -- | 50 | 100 | 150 |
| Plantas de producción que requieren intervención ocasional | 28 | 100 | 150 | 200 |
| Áreas generales en el interior de las fábricas | 25 | 200 | 300 | 500 |
| Cuartos de control, laboratorios | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Industria farmacéutica | 22 | 300 | 500 | 750 |
| Inspección | 19 | 500 | 750 | 1000 |
| Balanceo de colores | 16 | 750 | 1000 | 1500 |
| Fabricación de llantas de caucho | 22 | 300 | 500 | 750 |
| **Fábrica de confecciones** | | | | |
| Costura | 22 | 500 | 750 | 1000 |
| Inspección | 16 | 750 | 1000 | 1500 |
| Prensado | 22 | 300 | 500 | 750 |
| **Industria eléctrica** | | | | |
| Fabricación de cables | 25 | 200 | 300 | 500 |
| Ensamble de aparatos telefónicos | 19 | 300 | 500 | 750 |
| Ensamble de devanados | 19 | 500 | 750 | 1000 |
| Ensamble de aparatos receptores de radio y TV | 19 | 750 | 1000 | 1500 |

### *3.1 Cálculos de iluminación*

De acuerdo con el lugar y a las necesidades de iluminación directa, el cual proporciona uniformidad a toda el área iluminada, se realizan una serie de pasos para establecer el flujo luminoso total requerido, número de luminarias, emplazamiento de las luminarias, entre otras

El método tiene cuatro pasos básicos:

- Determinar el índice de cavidad del lugar (K).
- Determinar los coeficientes de reflexión (ρ).
- Determinar el factor de utilización (Fu) o coeficiente de utilización (Cu).
- Determinar el coeficiente de depreciación, conservación o mantenimiento (Fm).

Para el caso de estudio, utilizamos el método de iluminación directa, ecuación 1.

$$k = \frac{ab}{h(a+b)} \qquad (1)$$

Donde,

$a$ = *ancho del galpó (metros)*

$b$ = *largo del galpó (metros)*

$h$ = *altura (entre el plano de trabajo y las luminarias) (metros)*

Sustituyendo en la ecuación 1 los valores medidos en la visita inicial al galpón, se tiene la ecuación 2.

$$k = \frac{(12\ m)(25\ m)}{(3\ m)(12\ m + 25\ m)}; \quad k = 4{,}05 \qquad (2)$$

Los valores de coeficientes de reflexión por lo general se encuentran establecidos (tabulados) en tablas de acuerdo con los materiales, superficies y acabados, hay que recordar que se deben tomar de paredes, techo y suelo.

Las características del galpón de estudio nos permiten utilizar los siguientes valores:

Techo: 73% (claro, gris),
Paredes: 73% (claro, gris),
Piso: 73% (claro, gris)

Por lo general las tablas de coeficiente de utilización se hacen para una reflectancia efectiva del piso del 20%. Para hallar el valor del coeficiente de utilización se ubican los datos de reflectancia e índice K y se cruzan. En las tablas siempre se presentan valores enteros; por lo tanto, se debe realizar la aproximación de dichos valores.
Para determinar el del factor de utilización, se tomarán los valores hallados con anterioridad:

| **Índice de cavidad del lugar** | **Coeficiente de reflexión** | |
|---|---|---|
| | Techo | Paredes |
| $k = 4{,}05 \gg 4$ | 73% ≫ 70% | 73% ≫ 70% |

De acuerdo con los valores obtenidos de índice de cavidad del lugar, el coeficiente de reflexión en el techo y las paredes, y la información suministrada en el cuadro 1, el valor del factor de utilización es (Fu) = 0,66.

Para el cálculo del número de luminarias se utiliza el método por lúmenes ecuación 3:

$$N = \frac{E * a * b}{N_i * \emptyset * Fu * fm} \qquad (3)$$

Donde,

**N** = Número de luminarias.
**b** = Largo del galpón (m).
**Fu**: Factor de utilización.
**a** = Ancho del galpón (m).
**E**: Iluminación media (lux);
**Ni**: número de lámparas por luminaria.
**fm**: Factor de mantenimiento.
**Φ**= Flujo de lámparas (lúmenes).

Sustituyendo en la ecuación 3. Los valores encontrados anteriormente, obtenemos la ecuación 4.

$$N = \frac{(100\ lux) * (12\ m) * (25\ m)}{(2) * (1350\ lux/m^2) * (0.66) * (0.9)} \quad (4)$$
$$\mathrm{N} = 18.7\ \text{luminaniras}$$

Debido a que los galpones cuentan con forma rectangular, las luminarias se deben instalar de forma uniforme, el valor que arroja la fórmula es de 18.70, realizando una aproximación y un análisis de los resultados se decide instalar 18 luminarias como la opción más económica y adecuada, teniendo en cuenta instalarlas en filas paralelas y ejes simétricos. La distribución en la granja se establecerá de la siguiente manera, 3 luminarias de ancho, 6 luminarias de largo, cada luminaria cuenta con 2 lámparas, en total serán 36 lámparas.

## 4. SISTEMA DE CONTROL

De acuerdo con las características de la tecnología y a las necesidades (robustez, economía y desempeño) del proyecto, se determina que el PLC "SIMATIC S7-1200 SIEMENS" es la herramienta más apropiada para el control de la iluminación del galpón.

Se procede a estimar la función de transferencia de la planta del sistema y determinar el controlador más apropiado. En la figura 4 se ilustra el diagrama en bloques en lazo cerrado del sistema, en cual se señalan cada uno de los parámetros que se deben tener en cuenta y que más adelante se analizan en detalle con ayuda de la herramienta computacional MatLab.

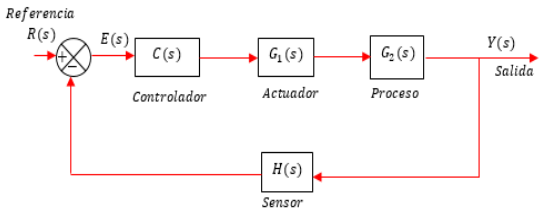



*Figura 4. Diagrama en bloques del lazo cerrado del sistema*
*Fuente: Autores.*

Para identificar la planta (función de transferencia del sistema), se establecen valores de referencia en la entrada y la salida, y luego importarlos a MatLab, en donde se procede a determinar la función que rige al sistema.

El encargado de reconocer la intensidad de luz es un sensor crepuscular de 2-2000 lux de la marca Theben AG, como se puede ver en la figura 5. Se trata de un sensor lumínico con una señal para la interpretación de 4-20 mA. La señal dada por el sensor es compatible con el PLC S7-1200.



*Figura 5. Sensor Crepuscular Theben AG.*
*Fuente. Philips*

Luego de la calibración del sensor, se crean datos de referencia, entrada y salida en Excel y se importan en forma de vectores en MatLab. Los datos importados se comparan con una entrada tipo paso, de lo cual se obtiene la curva mostrada en la figura 6.

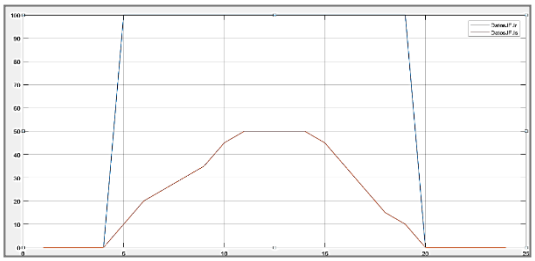


*Figura 6. Comportamiento del sistema original*
*Fuente: MatLab.*

Con ayuda de la herramienta PID Tuner, se busca una función que tenga el "mismo" comportamiento del sistema original y se establece la estructura más apropiada para el sistema; en este caso, se determina una estructura de segundo orden con un cero. La función que se acerca al comportamiento (aproximadamente 87%) del sistema se puede apreciar en la figura 7.

De acuerdo con lo obtenido en la identificación de la planta con "PID Tuner", se genera la siguiente función de transferencia para el sistema. Ver ecuación 5.

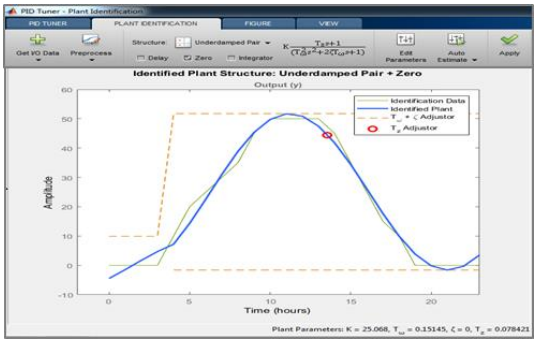



*Figura 7. Identificación de la estructura de la planta*
*Fuente: MatLab.*

$$G(s) = \frac{(25.068)(0.078421s + 1)}{0.022937s^2 + 1} \quad (5)$$

Luego de obtener la función de transferencia de la planta, se busca el controlador más apropiado que ayude a regular las señales y permita disminuir el error del sistema.

En la figura 8 se puede observar los controles aplicados al sistema con ayuda de "PID Tuner", y de igual modo se puede apreciar la respuesta a una acción proporcional (P), Proporcional Derivativa (PD), Proporcional Integral (PI) y Proporcional Integral Derivativa (PID); siendo la acción PD y PID las más adecuadas, generando un tiempo de respuesta más corto y un Overshoot (sobre impulso) menor al 5%. (B. James, J. Galindo, J. Camperos. 2014)

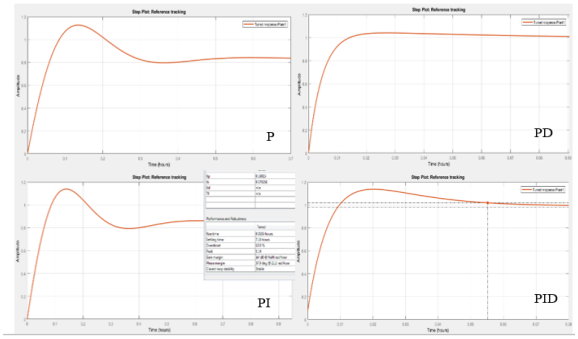



*Figura 8. Respuesta del sistema a las acciones P, PD, PI y PID.*
*Fuente: MatLab*

Se establece que para controlar el sistema es conveniente emplear una acción de tipo PID, debido a que la función de transferencia de la planta es de orden dos; por lo que de aquí se obtiene que el controlador para una estructura paralela.

$$C(s) = 2.562 \ + \frac{96.46}{s} + 0.0009431\ s \ (6)$$

En la figura 9. Se puede observar la respuesta del sistema, con la función de transferencia de la planta y el controlador escogido.

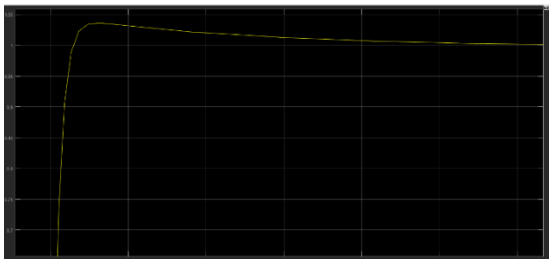


*Figura 9. Respuesta del sistema a una entrada tipo pasó en Simulink.*
*Fuente: MatLab.*

*4.1 Diagrama de flujo.*

La programación del PLC se establece mediante un diagrama de flujo. Ver figura 10.

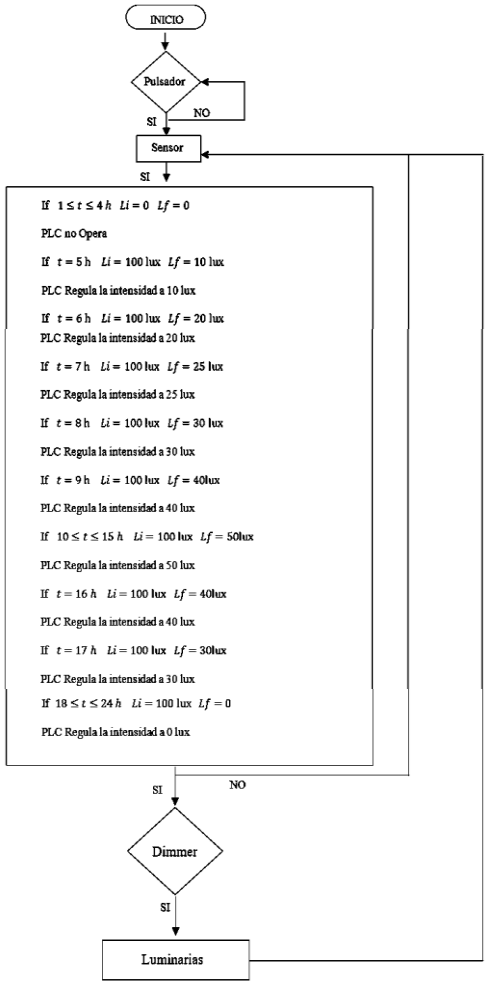



*Figura 9. Diagrama de flujo*
*Fuente: Autores*

En la figura 10 se puede apreciar un diagrama esquemático de la instalación de los dispositivos; se muestra el lugar en donde se debe instalar el PLC, los sensores, el actuador (Dimmer) y las luminarias.

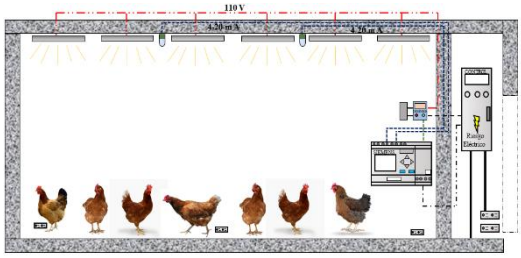



*Figura 10.* Diagrama esquemático de instalación de dispositivos
*Fuente: Autores*

## 5. CONCLUSIONES

Al visitar el lugar, se apreció con claridad las condiciones del galpón; de lo cual se observó la obstrucción de luz de los rayos solares por medio de unos cultivos ajenos al proceso, ocasionando un uso ineficiente de la iluminación natural como parte del fotoperiodo de las aves. Esta condición, llevó a la necesidad de encerrar el lugar, quedando así, sólo dependiente de la luz artificial. Además, se identificaron las condiciones de luz adecuadas para el sistema de iluminación en el galpón avícola de la UFPSO, determinando la cantidad de lámparas y luminarias necesarias para la buena labor del lugar, cumpliendo con los lineamientos estipulados en el reglamento RETILAP.

En la búsqueda del tipo de control más adecuado, se tuvieron en cuenta variables de iluminación, corriente y voltaje, así como también los dispositivos y software más indicados. De acuerdo con las características del sistema y con ayuda de Matlab, se determinó la función de transferencia que rige el comportamiento de la planta, y al ser una función de segundo orden con un cero, se determina que, para el control del sistema de iluminación del galpón, la acción más apropiada en la regulación del proceso es Proporcional Integral y Derivativa (PID). Por otro lado, se escoge un PLC "SIMATIC S7-1200 SIEMENS" por su economía y fácil manejo.

## REFERENCIAS

B. James, J. Galindo, J. Camperos. (2014)" Desarrollo de una herramienta en Matlab para Sintonización de Controladores PID, utilizando algoritmos genéticos basado en técnicas de optimización multiobjetivo" Centro de Formación CIES, Tecnoparque Colombia Nodo Ocaña, Regional Norte de Santander. M

Castelló, J. A. (2013). instalaciones de iluminación en los criaderos de pollos. selecciones avícolas.

F. Revidatti, J. Rafart, R. Fernández, J. Terraes, R. Sandoval. (2005) "Rendimiento reproductivo en cruzamientos entre razas tradicionales productoras de huevo y carne". InVet, Vol 7. No. 1, Buenos Aires.

Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna* (5 ed.). Madrid: Pearson Educación, S.A. Recuperado el 24 de 06 de 2017

Meza, M. (20 de 06 de 2017). Importancia de la Iluminación en un Galpón Avícola. (M. M. Pérez Villegas Juan Fernando, Entrevistador).

## SITIOS WEB

Marcelino. (12 de 11 de 2016). La Granja y la Huerta de Marcelino. Obtenido de https://lagranjaylahuertademarcelino.wordpress.com/2016/11/12/peculiaridades/

Tobón, J. C. (2014). ViperTouch, el sistema de control automático de la producción avícola. XVII Congreso y Exposición Nacional Avícola. Cartagena de Indias: http://video.wattagnet.com/3k3/se-automatizan-mas-las-granjas-avicolas-en-colombia/.