

**SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN PARA LOS GALPONES
AVÍCOLAS EN LA GRANJA EXPERIMENTAL DE LA UNIVERSIDAD
FRANCISCO DE PAULA SANTANDER – OCAÑA (UFPSO)**

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

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

Universidad Francisco De Paula Santander - Ocaña

Abstract: In this document a closed loop control system for lighting in a poultry house is proposed, considering the luminosity conditions (natural and artificial) present in the place, as well as the number of birds and their distribution in the poultry house. After analyzing the information obtained, a control system is developed with the help of MatLab to determine the second order transfer function that governs the behavior of the plant and establishing an integral and derivative proportional action (PID) who 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).

*“En los momentos de crisis, sólo la imaginación
es más importante que el conocimiento”
Albert Einstein*

1. INTRODUCCION

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. Otra razón estaría relacionada con el desinterés por parte del criador, el cual decide dejar en manos de la empresa que le ha suministrado la nave, y dicha empresa, con un juicio poco técnico no tiene en cuenta la importancia de la intensidad y el tipo de luz y de la ubicación de los puntos de iluminación.

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.

La necesidad de la luz artificial, independientemente, la latitud geográfica del lugar y la época del año se utiliza como complemento de la luz natural para lograr el fotoperiodo, que consiste en suministrar 24 horas de luz adecuada en todo momento. Por tanto, se debe considerar a la luz artificial como un aspecto indispensable en toda granja de pollos con el fin de mejorar el crecimiento de estos.

En los ambientes controlados y sistemas intensivos, donde la luz es manejada por el hombre, la sensibilidad visual que poseen las aves es de importancia. La intensidad, el fotoperiodo o duración, longitud de onda y fuente de iluminación son factores de variación a la hora de estudiar la influencia de la luz en la avicultura.

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. En la actualidad, existe variedad de lámparas disponibles para iluminar el interior de un galpón avícola, los cuales tienen beneficios y perjuicios. Para mejorar la producción, es importante conocer las opciones de luces disponibles para la avicultura, al igual que la terminología y el manejo de la luz.

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.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

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 1, se puede apreciar la ubicación de las lámparas.



Fuente. Granja UFPSO

Fig. 1. Ubicación de iluminación artificial de los galpones.

El espacio donde residen las gallinas comerciales de la UFPSO utiliza luz natural, debido a que cuenta con cuatro (4) galpones, los cuales están en condiciones abiertas; y al existir estas condiciones, las aves se agrupan en una sola zona del galpón, 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.

Dentro de los dispositivos empleados en el control de la iluminación se encuentran: Arduino, PLC, LabView, MatLab, temporizadores y sensores de ocupación y fotoeléctricos. De lo mencionado anteriormente, se escoge un PLC y la herramienta computacional MatLab, además de un sensor crepuscular, de los cuales se hablará en más detalle en los resultados.

3. RESULTADOS

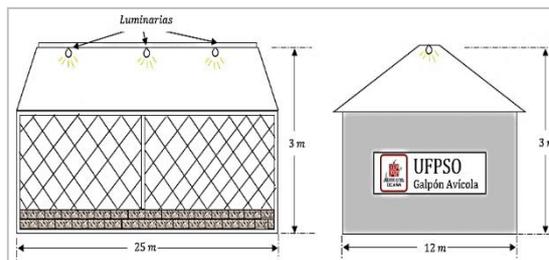
Para dar por cumplido lo planeado y luego de haber realizado el análisis respectivo del lugar, se definen el tipo de control y la instrumentación para el sistema de iluminación automático de los galpones. Esto es posible al realizar los cálculos de luminosidad presentes en el galpón. De acuerdo con las condiciones iniciales encontradas y a las exigencias y necesidades por parte del galpón, se plantea la siguiente propuesta de iluminación:

Datos del galpón. 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 luminarias = 3m	

En la figura 2, 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.

Fuente. Granja UFPSO

Fig. 2. Vista Lateral y Frontal del galpón avícola.

Nivel de iluminación. 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 (RETLAP), recomienda la aproximación para aquellas actividades que no se encuentren en el listado, acercándose a las condiciones requeridas.

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

Tipo de lámpara. (Lámparas Fluorescentes). Debido a las necesidades requeridas para el proyecto se estipula utilizar el tubo fluorescente TL5 HE Essential Philips (Alta eficiencia).

Las características más relevantes para este tipo de lámpara son:

Tipo: TL5 Essential 14W/830 HE

Definición de color: Blanco cálido

Eficiencia: 96 (Lm/W) 35°C

Vida útil: +20000 Horas promedio

Flujo luminoso: 1350 (lm) 25°C

Mercurio: (1,4 mg) mínimo contenido

Estas lámparas son indicadas para dimerización. Las lámparas pueden ser encendidas a una temperatura ambiente entre -15°C y +50°C.

Contenido máximo de mercurio: En la tabla 3, se muestran la cantidad de mercurio en lámparas fluorescentes contemplados por el RETILAP.

Valores mínimos de eficacia: En la tabla 4, se aprecian los valores mínimos de eficacia lumínica en tubos fluorescentes T8 y T5.

Tabla 3.

Máximos contenidos de mercurio en lámparas fluorescentes

Tipo de Lámpara	Máximo contenido de mercurio (mg)
Fluorescente compacta	5
Fluorescente tubular con Halofosfato	10
Fluorescente tubular con Trifosfato para vida normal	5
Fluorescente tubular con Trifosfato para vida alargada	8

Tabla 4.

Valores mínimos de eficacia lumínica en tubos fluorescentes T8 y T5.

T8 (26 mm de diámetro)		T5 Alta Eficiencia (16 mm de diámetro)		T5 Alta salida (16 mm de diámetro)	
Potencia (W)	Eficacia luminosa (Lm/W)	Potencia (W)	Eficacia luminosa (Lm/W)	Potencia (W)	Eficacia luminosa (Lm/W)
≤ 15	63	≤ 14	86	≤ 24	73
> 15 ≤ 18	75	> 14 ≤ 21	90	> 24 ≤ 39	79
> 18 ≤ 25	76	> 21 ≤ 28	93	> 39 ≤ 49	88
> 25 ≤ 30	80	> 28	94	> 49 ≤ 54	82
> 30	87			> 54	77

En la tabla 5, se muestra la eficacia mínima de bombillas fluorescentes compactas, según RETILAP.

Tabla 5.

Eficacia mínima de Bombillas fluorescentes compactas (RETILAP)

Eficacia Bombillas Fluorescentes compactas	
Potencia (W)	Eficacia luminosa (Lm/W)
≤ 8	50
> 8 ≤ 15	57
> 15 ≤ 25	66
> 25 ≤ 45	69
> 45	74

Tipo de luminaria. Debido a las necesidades de robustez que se requieren en el proyecto y al tipo de lámpara establecido, se escoge la luminaria ACQUA TCW60 de Philips. Las características de la luminaria ACQUA TCW60 son las siguientes:

Resistencia: Alta resistencia al polvo y agua, hermeticidad IP65.

Instalación: Puede ser instalada en techo o pared por medio de grapas.

Contextura: Cuerpo inyectado en policarbonato.

Pantalla interior: Reflectora, porta tubos y equipos.

Superficie exterior: Lisa, de alta durabilidad y resistencia a los impactos.

Capacidad: Para dos lámparas.



Fuente. www.luz.philips.com

Fig. 3. Luminaria ACQUA TCW60

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, etc.

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, por lo que:

$$k = \frac{ab}{h(a + b)} \quad \text{Ecuación (I)}$$

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 (I) los valores medidos en la visita inicial al galpón, se tiene que:

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

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.

En la tabla 6 se muestran la información necesaria suministrada por el Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público-RETILAP de 2010. Pág. 109.

Tabla 6
Valores de reflectancia (aproximada) en %

TONO	COLOR	SUPERFICIES	ACABADOS DE CONSTRUCCIÓN	
Muy Claro	Blanco nuevo	88	Maple 43	Cantera clara 18
	Blanco viejo	76	Nogal 16	Cemento 27
	Azul verde	76	Caoba 12	Concreto 40
	Crema	81	Pino 48	Mármol blanco 45
	Azul	65	Madera clara 30-50	Vegetación 25
	Miel	76	Madera oscura 10-25	Asfalto limpio 7
	Gris	83		Adoquín de roca 17
	Azul verde	72	ACABADOS METÁLICOS	Grava 13
	Crema	79	Blanco polarizado 70-85	Ladrillo claro 30-50
	Azul	55	Aluminio pulido 75	Ladrillo oscuro 15-25
Mediano	Miel	70	Aluminio mate 75	
	Gris	73	Aluminio claro 59-79	
	Azul verde	54		
	Amarillo	65		
	Miel	63		
	Gris	61		
	Azul	8		
	Amarillo	50		
	Café	10		
	Gris	25		
Oscuro	Verde	7		
	Negro	3		

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
<i>k</i> = 4,05	73%	73%
>> 4	>> 70%	>> 70%

Cuadro 1
Valores de coeficiente de utilización

Índice del lugar	Reflectancia de piso [%]=20											
	Reflectancia techo				70				50			
	70	50	30	10	70	50	30	10	70	50	30	10
1	0.90	0.86	0.83	0.80	0.88	0.85	0.80	0.78	0.80	0.78	0.75	0.77
2	0.82	0.75	0.99	0.64	0.80	0.73	0.70	0.66	0.70	0.66	0.62	0.67
3	0.74	0.66	0.57	0.52	0.72	0.64	0.60	0.56	0.60	0.56	0.52	0.59
4	0.68	0.58	0.50	0.45	0.66	0.56	0.50	0.44	0.54	0.48	0.43	0.52
5	0.62	0.50	0.42	0.37	0.59	0.49	0.42	0.37	0.48	0.41	0.36	0.46
6	0.57	0.44	0.38	0.32	0.55	0.44	0.37	0.31	0.42	0.36	0.31	0.41
7	0.52	0.40	0.33	0.27	0.50	0.39	0.32	0.27	0.38	0.31	0.26	0.36
8	0.48	0.36	0.28	0.23	0.46	0.35	0.28	0.23	0.34	0.28	0.23	0.33
9	0.44	0.32	0.25	0.20	0.42	0.31	0.25	0.20	0.30	0.24	0.20	0.30

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

La Comisión Internacional de Iluminación (CIE), establece el factor de mantenimiento de las luminarias mediante información suministrada en el cuadro 2. (Se asume que el mantenimiento se realizará cada año).

Cuadro 2
Valores de factor de mantenimiento (*fm*)

Frecuencia de limpieza (años)	1				2			
	P	C	N	D	P	C	N	D
Condiciones ambientales	P	C	N	D	P	C	N	D
Luminarias abiertas	0,96	0,93	0,89	0,83	0,93	0,89	0,84	0,78
Reflector parte superior abierta	0,96	0,90	0,86	0,83	0,89	0,84	0,80	0,75
Reflector parte superior cerrada	0,94	0,89	0,81	0,72	0,88	0,80	0,69	0,59
Reflectores cerrados	0,94	0,88	0,82	0,77	0,89	0,83	0,77	0,71
Luminaria a prueba de polvo	0,98	0,94	0,90	0,86	0,95	0,91	0,86	0,81
Luminarias con emisión indirecta	0,91	0,86	0,81	0,74	0,86	0,77	0,66	0,57

Algunas de las variables presentes en el cuadro 2, se describen a continuación:

P: Pure: Puro o limpio C: Clean: Limpio
N: Normal D: Dirty: Sucio

Con los datos de las condiciones ambientales, tipo de luminaria y la frecuencia de limpieza se estima que el factor de mantenimiento es:
($f_m = 0,90$).

Para el cálculo del número de luminarias se utiliza el método por lúmenes con la siguiente ecuación:

$$N = \frac{E * a * b}{N_i * \Phi * F_u * f_m} \quad \text{Ecuación (II)}$$

Donde,

N = Número de luminarias
E: Iluminación media (lux);
b = Largo del galpón (m);
N_i: número de lámparas por luminaria
F_u: Factor de utilización
f_m: Factor de mantenimiento
a = Ancho del galpón (m),
Φ = Flujo de lámparas (lúmenes)

Sustituyendo en la ecuación (II) los valores encontrados anteriormente, tenemos:

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

$$N = 18.7 \text{ luminarias}$$

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.

Para tener un control total de las filas y los ejes de simetría se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}}}{\text{largo}}} * \text{ancho}, \quad \text{Ecuación (III)}$$

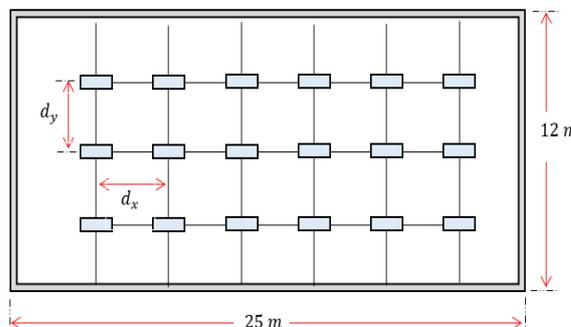
$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} * \left(\frac{\text{largo}}{\text{ancho}} \right) \quad \text{Ecuación (IV)}$$

Dónde, N: Numero de luminarias. Reemplazando las dimensiones del ancho y largo del galpón en la ecuación (III) y (IV), se tiene que:

$$N_{\text{ancho}} = 2,93 \gg 3 \text{ luminarias}$$

$$N_{\text{largo}} = 6,01 \gg 6 \text{ luminarias}$$

La distribución en la granja se establecerá de la siguiente manera, tres (3) luminarias de ancho, seis (6) luminarias de largo, cada luminaria cuenta



con dos (2) lámparas, en total serán treinta y seis (36) lámparas.

Fuente: Elaboración propia
Fig. 4. Emplazamiento de luminarias.

Para producir la iluminancia media preestablecida, se requiere el valor del flujo luminoso; por lo tanto, se aplica la siguiente ecuación:

$$\Phi_{\text{Total}} = \frac{E_{\text{medio}} * A}{F_u * f_m} \quad [\text{lm}] \quad \text{Ecuación (V)}$$

De donde se tiene que:

$$\Phi_{\text{Total}} = 50505,05 \text{ lumen}$$

Teniendo el número de luminarias para el galpón, se puede obtener el flujo luminoso real con la siguiente ecuación:

$$\Phi_{\text{real}} = N * n * \phi_L = [\text{lm}] \quad \text{Ecuación (VI)}$$

Por lo que:

$$\Phi_{\text{real}} = 48600 \text{ lumen}$$

Obtenido el flujo luminoso real, se puede obtener la iluminancia promedio real con la siguiente ecuación:

$$E_{\text{prom}} = \frac{\Phi_{\text{real}} * F_u * f_m}{A} \quad \text{Ecuación (VII)}$$

$$E_{\text{prom}} = 96,23 \text{ lx}$$

Con ayuda de los cálculos realizados, se observa que la iluminancia promedio real está un poco baja respecto a la establecida en las condiciones iniciales (100 lx), esto se puede observar debido a que cuando se escogió el número de luminarias se aproximó a 18 en vez de 19 luminarias, como lo indicaba la fórmula.

Se deben tener en cuenta los factores de economía y uniformidad que se establecen para la instalación de estas, por lo que, instalando las 19 luminarias se perdería este factor.

La pérdida que se observa es de menos del 5% por lo tanto no tiene un impacto relevante en la iluminancia, pues este valor se varía de acuerdo con las necesidades del galpón por debajo de dicha referencia.

Cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación (VEEI).

Para evaluar la eficiencia energética de la instalación se utilizará la siguiente ecuación:

$$VEEI = \frac{P * 100 \text{ lx}}{S * E_{prom}} \left(\frac{W}{m^2} * 100 \text{ lx} \right)$$

$$VEEI = 1,74 \frac{W}{m^2} * 100 \text{ lx}$$

El valor de la eficiencia energética de la instalación depende de la eficiencia de las lámparas escogidas, entre más alta la eficiencia, menor el VEEI, lo cual es lo ideal. Para establecer los límites ideales en el VEEI se utiliza la información suministrada en la tabla 7:

Tabla 7
Valores límite de eficiencia energética de la instalación (VEEI)

Grupo	Actividades de la zona	Límites de VEEI
	Administración en general	3,5
	Andenes de estaciones de transporte	3,5
	Salas de diagnóstico	3,5
	Pabellones de exposición o ferias	3,5
	Aulas y laboratorios	4,0
	Habitaciones de hospital	4,5
a	Otros recintos interiores asimilables a grupo 1	4,5
zonas de baja	Zonas comunes	4,5
importancia lumínica	Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
	Parquaderos	5
	Zonas deportivas	5

De acuerdo en lo plasmado en la tabla 6, las instalaciones del galpón avícola de la UFPSO se encuentran en la siguiente clasificación:

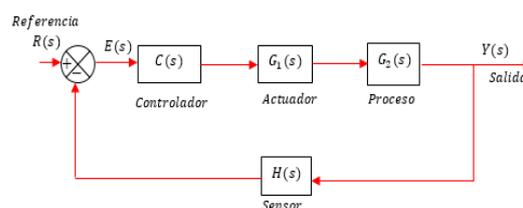
Grupo	Actividad de zona	Límites de VEEI
Zonas de baja importancia lumínica	Almacenes, archivo, salas técnicas y cocinas	5

Para el diseño de la iluminación, el VEEI obtenido (1,74) es menor que el límite permitido (5), por lo tanto, el diseño es eficiente desde el enfoque energético.

Sistema de control más adecuado para la instalación avícola.

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.

Luego de escoger el PLC, se procede a estimar la función de transferencia de la planta del sistema y determinar el controlador más apropiado. En la figura 5 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.



Fuente. Elaboración propia
Fig. 5. Diagrama en bloques

El PLC SIMATIC S7-1200 cuenta con un controlador modular compacto con,

Entradas digitales tipo: sumidero/fuente,
Tensión nominal: 24 VDC a 4 mA;
Salidas digitales tipo: relé;
Rango de voltaje: 5 a 30 VDC o 5 a 250 VAC;
Corriente (máx.): 2.0 a 2;
Entradas analógicas tipo: 0 a 10 V;
Resolución 10 bits.

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.

En la tabla 8 se muestran los valores escogidos para la calibración del sensor de 4 – 20 mA, el cual sirve de retroalimentación en el sistema.

Tabla 8
Calibración del sensor

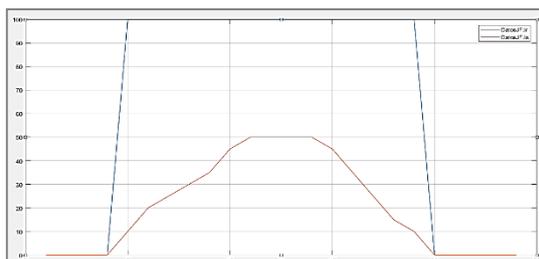
Punto de prueba	Datos en ascenso				
	0%	25%	50%	75%	100%
Señal aplicada (lux)	0	500	1000	1500	2000
Señal de salida (mA)	4	8	12	16	20

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 8. 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.



Fuente. Philips
Fig. 6. Sensor Crepuscular Theben AG.

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 7.



Fuente. MatLab
Fig. 7. Comportamiento del sistema original

Con ayuda de la herramienta “PID Tuner - Plant Identification” de MatLab, e introduciendo los datos de (Amplitud=1, Onset Lag= 4s), se obtiene la respuesta al paso mostrada en la figura 8, lo que permite la identificación de la planta del sistema.

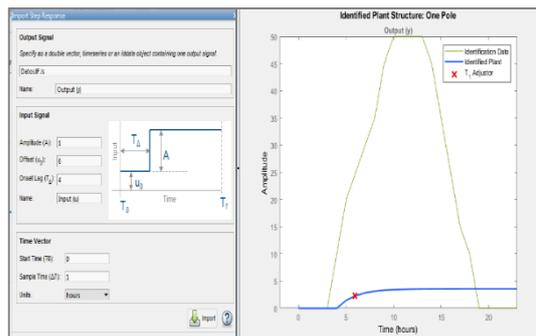
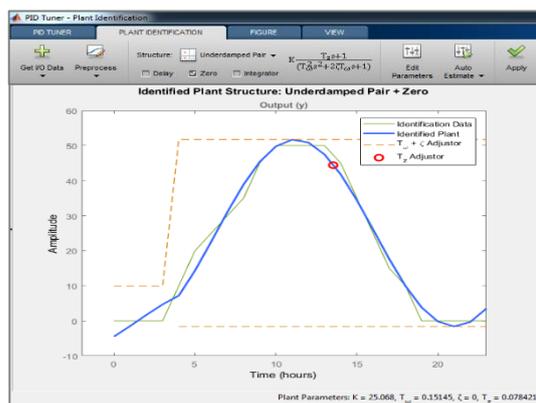


Fig. 8. Respuesta al paso del sistema (PID Tuner)

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 9.



Fuente. MatLab
Fig. 9. Identificación de la estructura de la planta

De acuerdo con lo obtenido en la identificación de la planta con “PID Tuner”, se genera la siguiente función de transferencia para el sistema.

$$G(s) = \frac{K (T_z s + 1)}{(T_\omega)^2 s^2 + 2\phi T_\omega s + 1}$$

Donde,

$$K = 25.068 ; T_\omega = 0.15145$$

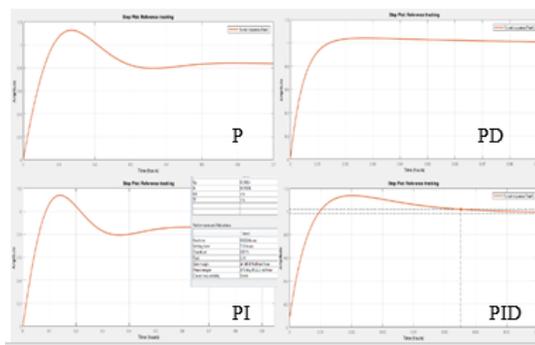
$$T_z = 0.078421 ; \phi = 0$$

Por lo que la función de transferencia queda:

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

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 10 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%.



Fuente. MatLab

Fig. 10. Respuesta del sistema a las acciones P, PD, PI y PID

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 queda de la siguiente manera:

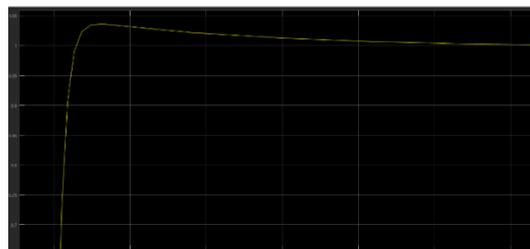
$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

Donde,

$$K_p = 2.562 ; K_i = 96.46 ; K_d = 0.0009431$$

Con ayuda de Simulink se analiza el comportamiento del sistema en lazo cerrado frente a una entrada tipo paso.

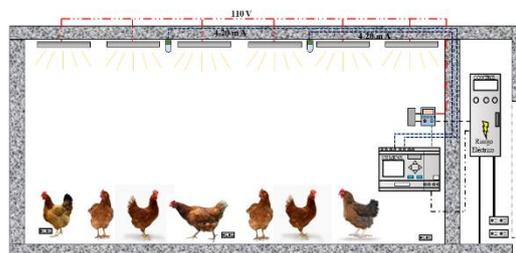
Finalmente, en la figura 11 se puede observar la respuesta del sistema, con la función de transferencia de la planta y el controlador escogido.



Fuente. MatLab

Fig. 11. Respuesta del sistema a una entrada tipo paso en Simulink.

En la figura 12 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.



Fuente. Elaboración propia

Fig. 12. Diagrama esquemático de instalación de dispositivos

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.

Para lograr una regulación eficaz en cualquier sistema, existen tipos de control como, Adaptativo, Inteligente, Robusto, Clásico, Moderno y Digital; dichos controles cuentan con acciones proporcionales, integrales y derivativos, y también una combinación entre ellos. Estos tipos de control deben ser complementados con la instrumentación adecuada. Para el diseño del control de la iluminación en el galpón de la UFPSO, se realizó una comparación entre Arduino, LabView y PLC, siendo este último el

instrumento escogido para el control de la iluminación.

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

- AVSO.ORG. (s.f.). *AVSO.COM*.
- Castelló, J. A. (2013). *INSTALACIONES DE ILUMINACIÓN EN LOS CRIADEROS DE POLLOS. SELECCIONES AVÍCOLAS*, 7.
- Ceibal, P. (02 de 02 de 2015). *Plan Ceibal – Lab. Digitales Sensores*. Obtenido de http://blogs.ceibal.edu.uy/labted/wp-content/uploads/2015/06/intensidad_de_luz_2015.pdf
- Cisneros, M. A. *Control-systems-principles.co.uk*. Obtenido de <http://www.loboinstruments.com/ProgLogicSP.pdf>
- COMAS, R. P. (36 de 05 de 2015). *Universidad Francisco de Paula Santander seccional Ocaña*.
- Embrapa Suínos e Aves. *WATTAgNet.com*.
- Gutiérrez, C. N. (2013). *Universidad del Azuay*. Recuperado el 26 de 06 de 2017, de Facultad de Ciencia y Tecnología.
- Manya, D. L. *Repositorio Digital - Universidad Central del Ecuador*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2339>
- Marcelino. *La Granja y la Huerta de Marcelino*. Obtenido de <https://lagranjaylahuertademarcelino.wordpress.com/2016/11/12/peculiaridades/>
- Meza, M. (20 de 06 de 2017). *Importancia de la Iluminación en un Galpón Avícola*. (M. M. Pérez Villegas Juan Fernando, Entrevistador)
- Morcillo, C. G. (s.f.). *Lógica Difusa*.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*, Prentice Hall, Quinta edición, Madrid.
- Rodriguez, J. L. (20 de 04 de 2017). *Tópicos de Control Automático*. (J. F. Villegas, Entrevistador)
- Sotillo, A. Q. (04 de 09 de 2006). *Avicultura*. Obtenido de <http://www.engormix.com/avicultura/articulos/influencia-luz-sobre-comportamiento-t26546.htm>
- 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/>.

SITIOS WEB

- Bricos. *Bricos*. Obtenido de <https://bricos.com/2012/11/temporizadores-clases-y-funcionamiento/>
- Hy-Line. *Hy-Line International*. Obtenido de www.hyline.com/userdocs/pages/TB_LIGHT_SPN.pdf
- Lozada, J. (09 de 12 de 2014). *Universidad IndoAmérica*. Recuperado el 17 de 06 de 2017, de <http://www.uti.edu.ec/documents/investigacion/volumen3/06Lozada-2014.pdf>
- Rubinoff, D. D. (29 de 10 de 2015). *Avicultura*. Obtenido de <http://www.engormix.com/avicultura/articulos/entendiendo-luz-avicultura-guia-t32638.htm>