



Diseño e implementación de sistema de monitoreo automatizado en granja avícola

Design and implementation of automated monitoring system in poultry farm

Gregorio Castillo Quiroz

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Puebla, México
gcquiroz1977@gmail.com

Arnulfo Cruz Garrido

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Puebla, México
arnulfocruz2003@yahoo.com.mx

Elisa Gonzaga Licona

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Puebla, México
goleon37@hotmail.com

Eugenio Luna Mejía

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Huauchinango, Puebla, México
eugemoon@hotmail.com

doi: <https://doi.org/10.36825/RITI.07.14.011>

Recibido: Septiembre 20, 2019

Aceptado: Octubre 22, 2019

Resumen: La producción de pollo en México, ha crecido alrededor del 145% durante los últimos años. Nuestra región de Huauchinango tiene una producción importante de engorda de pollos, el presente artículo se basó en el desarrollo de un sistema de control automatizado de regulación de variables: temperatura, humedad, luz, control de gases, amoníaco y el dióxido de carbono producidos por los desechos en galeras. Cuyo objetivo es lograr un incremento en la producción, optimizar las condiciones ambientales, disminuir el índice de mortalidad de las aves mediante el diseño e integración de un sistema de control automatizado respondiendo la necesidad de proporcionar a los productores avícolas a lograr un rendimiento óptimo de sus aves, que en su generalidad se realiza en forma manual. De esta manera el proyecto pretende que a partir de la metodología puesta en marcha pueda ser implementada en granjas de pollos de engorde en nuestra región.

Palabras clave: Automatización, Sensores de Temperatura y Humedad, Monitoreo, Algoritmo, Muestreo.

Abstract: Chicken production in Mexico has grown by about 145% in recent years. Our Huauchinango region has a significant production of chicken fattening, this article was based on the development of an automated control system for regulating variables: temperature, humidity, light, gas control, ammonia and carbon dioxide carbon produced by waste in galleys. It aims to increase production, optimize environmental conditions, reduce the mortality rate of birds by designing and integrating an automated control system responding to the need for provide

poultry producers to achieve optimal yield of their birds, which is generally done manually. In this way the project aims that from the start-up methodology can be implemented in broive chicken farms in our region.

Keywords: *Automation, Temperature and Humidity Sensors, Monitoring, Algorithm, Sampling.*

1. Introducción

Durante las últimas décadas, la producción avícola presentó un crecimiento continuo y la perspectiva es favorable en los próximos años, la carne pollo es uno de los alimentos preferidos de los mexicanos. En el 2017 se produjeron casi 3.5 millones de toneladas de carne de pollo, siendo el cárnico con mayor producción en México. Así, la industria avícola tiene un peso importante en la economía nacional.

La producción de pollo en México, ha crecido 145% durante el periodo de 1994 a 2017, ha aumentado a un ritmo de crecimiento anual del 4 por ciento.

Durante el 2017, las entidades del país con la mayor producción de carne de pollo fueron: Veracruz, Aguascalientes, Querétaro, Coahuila, Durango, Jalisco, Puebla, Chiapas, Guanajuato, entre otros. También cabe destacar que las importaciones mexicanas de carne de pollo, se han incrementado gradualmente. En 2017 se importaron 15 mil toneladas más que en 2016, para un total de 517 mil toneladas. Lo anterior quiere decir que actualmente las importaciones de carne de pollo tienen una participación de 13.3% en el consumo nacional [1].

El uso de tecnologías para optimizar la cadena productiva, el incremento en las inversiones, la ausencia de brotes de influenza aviar, entre otros, permitirán a México aumentar la producción en este ramo. Para el 2019 se estima un volumen de producción de 3.6 millones de toneladas, según estimaciones del USDA, lo que representaría un incremento anual de 2.9 por ciento. Es la séptima actividad más importante en el mundo y se establecería un récord histórico en México país para la producción interna del 2019.

El control del ambiente dentro de los galpones de pollo es todavía hoy un asunto pendiente en la avicultura moderna en México. Si bien en buena parte de los países con gran cultura de producción avícola existen muchas formas de poder controlar el ambiente dentro de los galpones avícolas, con buenos resultados. A continuación, se escribe las principales situaciones con las que nos podemos encontrar en la avicultura mexicana y cómo ha venido desarrollándose en los últimos años, para dar paso a la ventilación de tipo túnel en épocas de calor, en combinación con una ventilación de tipo transversal para épocas frías.

La necesidad de nuevos tipos de control ambiental surge por la necesidad de obtener un mejor desarrollo de aves genéticamente y mejor alimentadas. En México se prefiere un ave de mayor tamaño que por lo tanto es más susceptible al estrés calórico, por lo cual existe una mayor exigencia para los sistemas de control ambiental en los galpones [2]. Independientemente de que produzca carne, huevos, leche u otros productos de origen animal, está bien establecido que el manejo efectivo de las condiciones ambientales reduce el costo total de producción. En el negocio de la carne de pollo, todos los componentes del proceso desde las reproductoras pesadas hasta la progenie de engorde se benefician del control efectivo del ambiente.

El objetivo es proporcionar a la parvada un medio ambiente que le permita lograr el máximo rendimiento, velocidad de crecimiento óptima y uniforme y buena eficiencia alimenticia con rendimiento en carne, asegurándonos de no afectar adversamente la salud ni el bienestar de las aves. Los sistemas generadores de calor suplementario desempeñan un papel importante en el manejo del ambiente, sobre todo durante la fase de crianza; no obstante, en muchos lugares tal vez no sea necesario el calor suplementario durante una porción de la etapa de crecimiento. Por otra parte, se requiere una buena ventilación durante el desarrollo, incluso cuando se esté proporcionando calor suplementario, para controlar la calidad del aire. La ventilación es una la herramienta importante en el manejo del ambiente del galpón (caseta o nave) para obtener el mejor rendimiento de las aves [3].

Debido a que el sistema de temperatura y oxigenación es manipulado manualmente mediante mecanismos, y válvulas utilizando termómetros de mercurio como referencia, existe un problema el cual no se ha podido

resolver a la fecha, ya que durante el invierno la temperatura no debe bajar de 26 grados, por lo que es necesario dejar encendidas las criadoras durante toda la noche, generándose un primer problema que es la oxigenación deficiente debido a las altas concentraciones de amoníaco generándose así un segundo problema, el incremento de la humedad y temperatura a 30 grados *celsius* provocando ahogamiento y deshidratación, factor que provoca diarrea a los pollos. Estos dos factores dan origen a un tercer problema: es la condensación ya que afecta directamente a la producción por la generación, excesiva de calor que a su vez genera humedad y falta de oxigenación provocando problemas respiratorios y deshidratación en los pollos.

La región de la Sierra Norte de Puebla, específicamente en Huauchinango tiene una producción importante de engorda de pollos para consumo humano, el propósito del presente proyecto titulado diseño e implementación de un sistema de control automatizado en granja avícola, control de temperatura, humedad, luz, control amoníaco (NH_3) y el dióxido de carbono (CO_2), se fundamenta en el desarrollo de un sistema de control automatizado de regulación de las variables de: temperatura, humedad, luz, control de gases, amoníaco (NH_3) y el dióxido de carbono (CO_2) producidos por los desechos en galeras que afectan la salud y por lo tanto el rendimiento de las mismas, respondiendo a la necesidad de proporcionar a las personas dedicadas a la producción avícola a lograr el rendimiento óptimo de sus aves, que en su generalidad se realiza en forma manual, lo que implica una baja producción en el proceso.

El proyecto está enfocado para lograr un alto rendimiento en la granja avícola dedicado al engorde de pollos durante su producción en vivo, procesamiento, además de mantener la salud y el bienestar y así reducir el índice de mortalidad de las aves, se diseñó e integró un sistema de control automatizado de fácil manejo, utilizando un control de temperatura y un algoritmo de control PID para la humedad.

Otro aspecto considerado es el control de gases por el efecto de los desechos. Por lo que en base al levantamiento de campo realizado en planta se creó una estrategia para control de amoníaco (NH_3) y el dióxido de carbono (CO_2) producidos por los desechos de las aves (extracción y venteo temporizado), se procedió mediante el uso de sensores y extractores, para obtener mejor calidad de ambiente en el galpón lo que impactó en la salud integral de los pollos, así como el control de enfermedades con base en normas y estándares nacionales [4], [5], [6], [7], [8], [9], ver Tabla 1.

Tabla 1. Normas Oficiales Mexicanas regulatorias en materia de producción avícola.

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)	
NOM-061-ZOO-1999	Especificaciones zoosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal.
NOM-025-ZOO-1995	Características y especificaciones zoosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que fabriquen productos alimenticios para uso animal o consumo por éstos.
NOM-024-ZOO-1995	Especificaciones y características zoosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos; productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por estos; y del acuerdo por el que se da a conocer la campaña y las

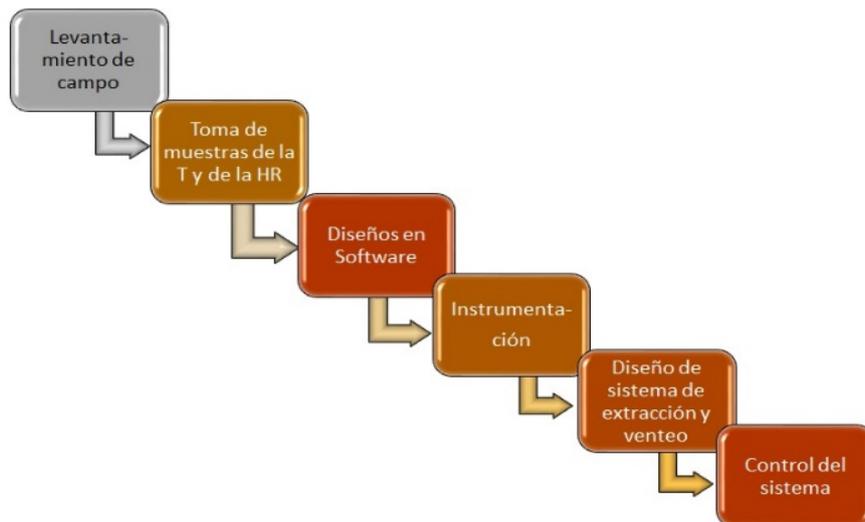


Figura 2. Diagrama de bloques del sistema automatizado.

2.1. Levantamiento de campo

La infraestructura de la propiedad cuenta con aproximadamente 2 hectáreas, la granja se divide en dos partes. La primera parte, cuenta con 7 galpones con una capacidad de 1500 pollos, y la segunda con 4 galpones con capacidades distintas que van desde 1200 a 3000 pollos como se muestra en la Fig. 3.



Figura 3. Galpón con capacidad desde 1200 a 1500 pollos.

La granja posee dos corrales ocupados por pollitos; para poder tener el acceso a cada corral es necesario desinfectar el calzado y la vestimenta. Para controlar la temperatura de cada corral utilizan costales en los bordes, además cada corral se divide por secciones dependiendo del tamaño de los pollos, en cada sección se encuentra colocado una cama de paja para cubrir el piso totalmente, al mismo tiempo una calentadora por medio de gas y un hule que ayuda a que el calor se mantenga controlado.

2.2. Toma de muestras de la temperatura y la humedad.

En base a los requerimientos para el control de Temperatura (T), Humedad Relativa (HR) y monitoreo de aire, se procede a realizar la toma de muestras de temperatura y humedad en diferentes puntos de la sección ocupada por los pollitos, considerando su tamaño. Para la medición se realizó con dos dispositivos el primero con un multímetro como se muestra en la Fig. 4 y el segundo con sensores de temperatura y humedad. Las muestras se tomaron durante varios días para garantizar la fiabilidad de los datos observando el comportamiento de las variables.

En la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4 y Tabla 5 se muestran los comportamientos de los datos en las dos variables a controlar durante la noche-día: temperatura y humedad, considerando una altitud a 5 cm y 20 cm sobre el nivel del piso. La medición de las variables se realizó en lapsos de tiempos distintos. A través de dos dispositivos (sensores de temperatura y humedad), observándose que en el intervalo de tiempo de las 03:30 am y las 07:00 am la temperatura desciende entre uno y dos grados centígrados, también se pudo observar que entre el horario de las 11:00 pm y las 02:00 am, el calor producido genera una gran cantidad de humedad.



Figura 4. Toma de muestras de la temperatura y de la humedad con multímetro.

Tabla 2. Comportamiento de la temperatura durante la noche (08:30 pm hasta 07:00 am).

Hora	Promedios con sensor			
	Temperatura (°C) a 5 cm	Intervalo de confianza	Temperatura (°C) a 20 cm	Intervalo de confianza
08:30				
a	31.91	±0.62	32.75	±2.25
09:00				
a	32.68	±0.55	32.73	±0.62
10:00				
a	32.55	±0.87	32.38	±0.97
12:00				
a	31.66	±0.38	31.53	±0.52
01:00				
a	31.95	±0.36	31.88	±0.65
03:00				
a	31.55	±0.88	31.68	±0.98
04:00				
a	31.71	±0.41	31.76	±0.58
06:00				
a	31.01	±0.39	31.20	±0.65
07:00				

Tabla 3. Comportamiento de la humedad durante la noche (08:30 pm hasta 07:00 am).

Hora	Promedios con sensor			
	% Humedad a 5 cm	Intervalo de confianza	% Humedad a 20 cm	Intervalo de confianza
08:30				
a	84.25	± 6.61	84.55	± 6.43
09:00				
09:30				
a	79.83	± 5.97	79.76	± 5.42
10:00				
11:30				
a	77.61	± 6.79	78.61	± 4.65
12:00				
12:30				
a	80.10	± 6.20	80.23	± 5.92
01:00				
02:30				
a	81.11	± 5.92	79.98	± 5.49
03:00				
03:30				
a	81.76	± 5.83	79.61	± 5.59
04:00				
05:30				
a	80.95	± 6.78	78.75	± 6.00
06:00				
06:30				
a	80.85	± 4.81	80.18	± 4.68
07:00				

Tabla 4. Comportamiento de la temperatura durante el día (09:30 am hasta 04:00 pm).

Hora	Promedios con sensor			
	Temperatura (°C) a 5 cm	Intervalo de confianza	Temperatura (°C) a 20 cm	Intervalo de confianza
09:30				
a	32.13	± 1.64	32.23	± 1.44
10:00				
10:30				
a	32.46	± 0.71	32.46	± 0.70
11:00				
11:30				
a	33.8	± 0.32	33.83	± 0.34
12:00				
12:30				
a	33.83	± 0.32	33.81	± 0.22
01:00				
01:30				
a	33.25	± 0.72	33.31	± 0.69
02:00				
02:30				
a	31.63	± 0.49	31.56	± 0.47

03:00				
03:30				
a				
04:00	30.06	± 0.11	30.1	± 0.12

Tabla 5. Comportamiento de la humedad durante el día (09:30 am hasta 04:00 pm).

Hora	Promedios con sensor			
	% Humedad a 5 cm	Intervalo de confianza	% Hume-dad a 20 cm	Intervalo de confianza
09:30				
a	84.3	± 7.28	83.71	± 7.01
10:00				
10:30				
a	89.95	± 5.15	88	± 5.40
11:00				
11:30				
a	81.8	± 3.59	81.28	± 4.12
12:00				
12:30				
a	71.7	± 0.52	68.8	± 3.90
01:00				
01:30				
a	70.43	± 3.19	71.23	± 3.31
02:00				
02:30				
a	62.96	± 4.17	63.38	± 4.24
03:00				
03:30				
a	67.98	± 3.13	67.08	± 3.00
04:00				

2.3 Diseños en software

Los requerimientos para el diseño de la planta se desarrollaron en dos *softwares* *SolidWorks* y *AutoCAD*. En *AutoCAD* se diseñó los planos de distribución de la galera con las dimensiones reales como se observa en la Fig. 5.

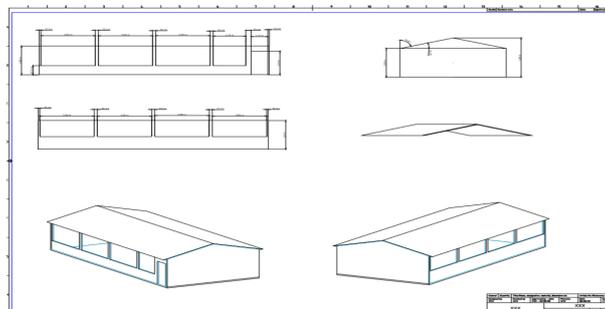


Figura 5. Diseño de las dimensiones externas del galpón avícola en *AutoCAD*.

En un segundo plano se diseñó la distribución de la planta usando bloques de *AutoCAD*. Donde se llevó la ubicación de tuberías de PVC y codos de 90°, los arbustos, instalación y alimentación eléctrica. Así mismo los extractores, bebederos y comederos como se observan dentro del galpón en la Fig. 6.

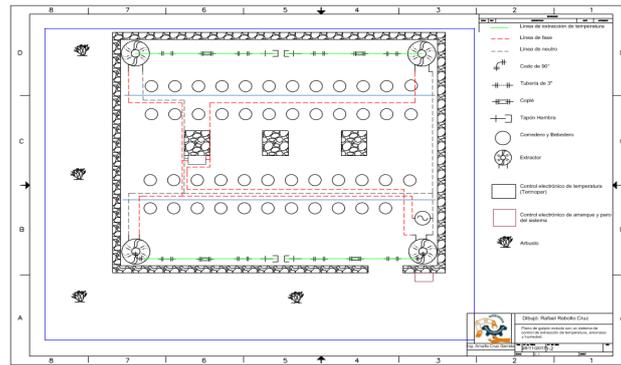


Figura 6. Diseño de la distribución de planta del galpón avícola en AutoCAD.

Posteriormente se diseñó en *SolidWorks* la estructura e instalación de las tuberías del galpón avícola de forma externa como se muestra en la Fig. 7.

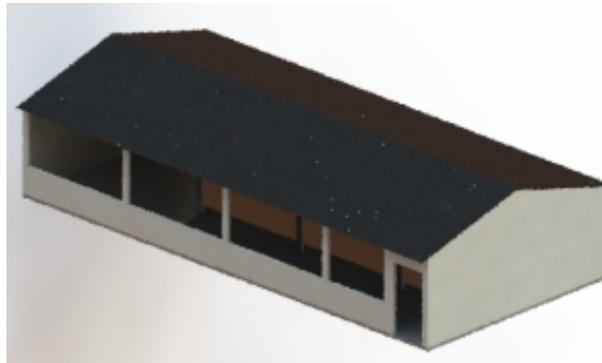


Figura 7. Diseño del galpón avícola de forma externa.

2.4. Instrumentación

La selección de la instrumentación y controlador se derivó de las necesidades del proyecto, optando por un Control Master CM10 de la compañía ABB, este provee un lazo de control, es un controlador de procesos PID flexible en una unidad 1/8 DIN. La funcionalidad de control flexible, incluye activación/desactivación, proporción de tiempo, PID analógico, salida dividida y *autotune*.

Completamente configurable mediante los menús del panel frontal de desplazamiento sencillo que contiene:

- Pantalla TFT a todo color de 5.5 cm (2.2 pulg.)
- Interfaz intuitiva y personalizable por el usuario con mensajes claros para facilitar la instalación, la puesta en marcha y el manejo
- Escalable para ajustarse a los requisitos de la aplicación
- Opciones de hardware y software completas
- Funcionalidad de control flexible
- Encendido/Apagado, tiempo proporcional, PID analógico y salida dividida
- Protección medioambiental IP66 y NEMA 4X

El control de Temperatura trabaja con una fuente de alimentación de 110 a 130 VCA a 60 Hz. Aporta un conector para colocar un sensor de temperatura en este caso un Termopar tipo K, con rango de temperatura que va desde los $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ el cual debe configurarse antes de proceder a realizar los muestreos, también provee conectores para salida de control de la variable, en este caso la salida es ON-OFF, que debe ser conectado a una etapa de potencia para alimentar al elemento de control final, específicamente al sistema de venteo y calefacción, según sea el caso.

Contiene también conectores tipo ON-OFF para los sistemas de potencia que alimentan las alarmas del sistema, y deben ser configurados.

También el mismo controlador provee conectores para un sensor de RH con un rango de 0% a 100%, de precisión típica $\pm 8\%RH$ in $-70^{\circ}C$, $\pm 5\%RH$ in $-40^{\circ}C$, $\pm 3\%RH$ in $-20^{\circ}C$, con resolución 1% RH, el cual deberá configurarse en el controlador, antes de iniciar su muestreo, este mismo está ligado a un algoritmo de control y concatenado al sistema de control de temperatura ofreciendo una salida ON-OFF conectado a los sistemas de potencia de extracción y calefacción.

2.5. Diseño de sistema de extracción y venteo

En la construcción del sistema en uno de los galpones ofrecidos para trabajar, lo primero que se desarrolló son las tuberías de PVC, con sus bases hechas de solera. La instalación se hizo cortando los tubos de PVC de 4 metros, para unirlos con los codos, se procedió a perforar el tubo con una broca de 1/4 de pulgada en los primeros 4 metros y de 1/2 pulgada en los siguientes cuatro metros, esto debido a la distancia de extracción.

Para la instalación de los extractores se realizó un agujero por el cual saldrá el amoníaco, se sujetaron con soleras y tornillos. Una vez instalados los extractores se conectaron los controladores, los cuales por medio del sensor reciben la señal y la reenvían para hacer funcionar los extractores.

2.6. Control del sistema

En las diferentes estaciones de engorda de pollo, se diseñó y se implementó un sistema de control de temperatura. Además, se anexó un sistema de control de humedad relativa. El Algoritmo utilizado para el control de estas variables es un controlador proporcional, integral y derivativo (PID) el cual controla con precisión la temperatura en dos modos de operación, automática o manual, por lo que se deben configurar los parámetros para trabajar en modo automático, en el modo manual es necesario la presencia del operador el cual se encarga de cerrar el lazo de control.

Una vez configuradas las entradas de temperatura y humedad, se observan en la pantalla *display* denominado variable de proceso (VP), en este caso son dos: RH y la T. Donde la variable medida es comparada contra la variable a controlar y el resultado de esta operación es guardada en un registro interno del controlador, posteriormente se le aplica un algoritmo matemático derivado del análisis del proceso a controlar observando tres bandas de comportamiento siempre dependiente de los límites, una banda proporcional donde el comportamiento es lineal, una vez llegando a su límite actúa la banda proporcional, con la finalidad de acercarse al valor verdadero (*Set-Point*) de manera progresiva hasta alcanzar su estabilidad, una vez que esta se logró, a cualquier desviación se le aplica la banda derivada, obteniendo así un control puntual de las variables que a su vez activan o desactivan las salidas incrementando o disminuyendo el ancho del pulso.

Para el calentamiento y/o venteo la salida se habilita cuando la temperatura está abajo del punto de ajuste y se deshabilita cuando se encuentra por encima del punto de ajuste. Para evitar daños en los contactores por oscilación se habilita el algoritmo diferencial por encendido y apagado, conocido como "histéresis", permitiendo observar límite inferior y superior de arranque y paro.

Cabe mencionar que los valores seleccionados para cada una de las bandas se determinaron en base a los muestreos de humedad y temperatura del galpón, y que se realizaron en horarios, días y meses diferentes.

El comportamiento de las dos variables a controlar de acuerdo a los parámetros establecidos en cada una de las bandas se muestra en las Fig. 8 y Fig. 9, respectivamente.

Por otro lado, se diseñó e implementó un sistema de control de Luz (LX), basado en lámparas de led de 12 watts. También se puso en marcha un sistema de control de gas Amoníaco (NH_3) y control de gas Dióxido de carbono (CO_2) en las diferentes estaciones de engorda de pollo.

Por último, para facilitar el manejo del sistema integral, se acondiciono un circuito de botonera con sus indicadores, *start*, *stop* y paro emergente.

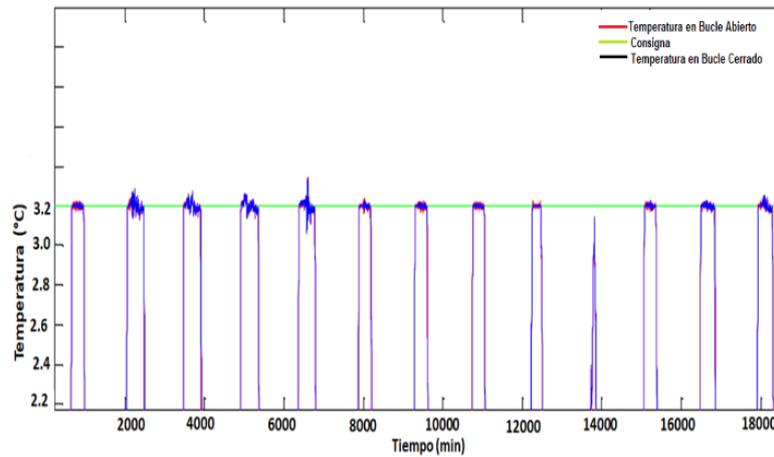


Figura 8. Control de la temperatura (proporcional: 40, integral: 30, derivativo: 30).

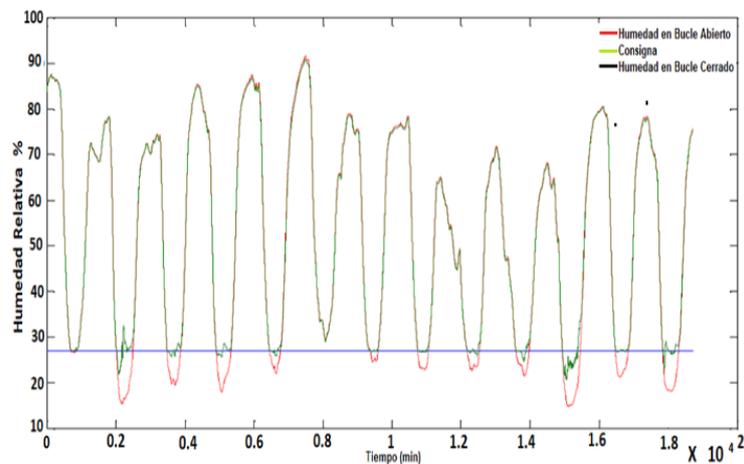


Figura 9. Control de la humedad (proporcional: 60, integral: 40, derivativo: 30).

3. Resultados y discusión

Como resultado obtuvimos un excelente desempeño del sistema para una producción que cuenta con 1100 pollos con una edad de dos semanas, se configuró una histéresis que permite que los extractores funcionen cuando la temperatura se aproxima a los 31 grados y se apaguen cuando se obtiene una temperatura de 28 grados centígrados, esta temperatura es manipulable y se cambia cada semana durante el proceso de producción, siendo la temperatura promedio de 26 grados centígrados para el pollo adulto, donde se muestra la adaptación del extractor con los tubos PVC.

En las Fig. 10 y Fig. 11 se muestran los comportamientos comparativos de la humedad y la temperatura entre una galera con sistema manual y una galera con sistema automatizado respectivamente.

En la Fig. 12 se muestra un comparativo del índice de mortandad entre una galera con sistema manual y una galera con sistema automatizado, observando que en la galera que posee el sistema automatizado solo se encontraron 8 pollos muertos en comparación con la galera con sistema manual en donde se encontraron 28 pollos muertos durante 7 semanas de muestreo.

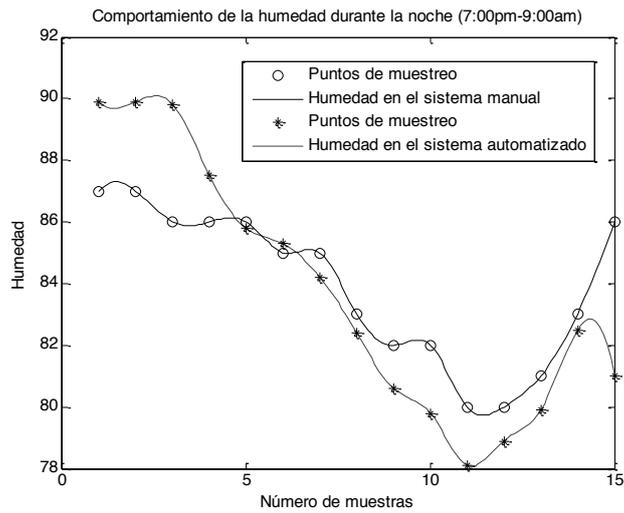


Figura 10. Comparación de la humedad entre el sistema manual y automatizado.

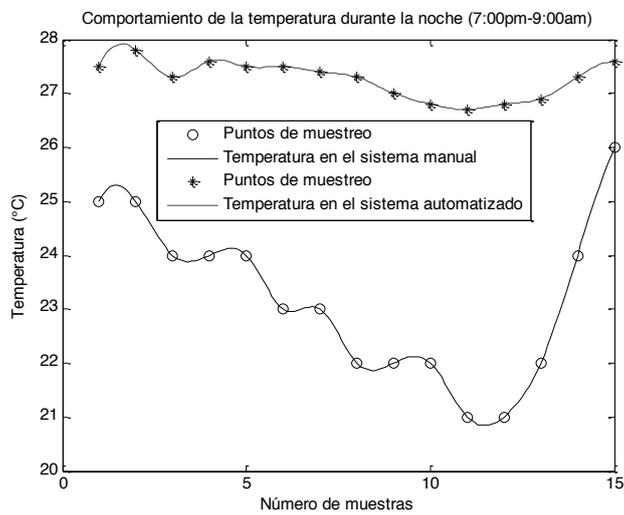


Figura 11. Comparación de la temperatura entre el sistema manual y automatizado.

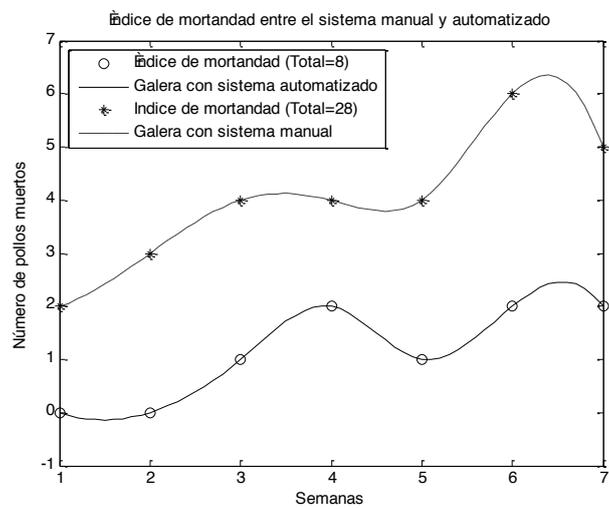


Figura 12. Comparativo del índice de mortandad de pollos en una galera con sistema manual y automatizado.

De acuerdo a lo observado se obtuvo un excelente desempeño del sistema automatizado, para una producción que contó con 1100 pollos. En la galera automatizada se logró disminuir el índice de mortandad a 0.72%. Al compararlo con la galera sin automatización que presentó un índice de mortandad del 3%, es decir, se tuvo un beneficio del 2.28 % en la reducción de mortandad que equivale a 25 pollos. En cuanto al control de humedad y amoníaco el sistema implementado redujo en un 95% las enfermedades virales, esto por el efecto de oxigenación, calentamiento y extracción de gases, por lo que no fue necesario utilizar medicamentos para contrarrestar este problema, lo que permitió tener pollos más sanos a la comunidad y reducir costos en medicamentos.

Con base a los resultados hallados en el estudio, están en concordancia con lo reportado en la literatura [10], en la cual indica que las condiciones ambientales del entorno se encuentren entre los 19°C y 25°C, con una humedad relativa no superior a 77% si la temperatura se mantiene constante a 19°C. Un exceso de humedad relativa en el galpón (valores superiores al 75%) incrementa el volumen de humedad de la cama y conlleva un empeoramiento de las condiciones ambientales.

Posteriormente se hizo un análisis de los resultados obtenidos del galpón con el sistema automatizado:

- En el galpón con sistema manual el promedio de mortalidad de las aves se extiende hasta un 3%, teniendo en cuenta que la capacidad de cada galpón es 1100 pollos y el tiempo de producción es continua. Esta galera mantiene una temperatura más o menos estable por las noches encendiendo lámparas de 200 watts y cada hora el responsable operario arranca un ventilador casero.
- En nuestra región el clima es muy brusco lo que implica cambios en la temperatura y humedad provocando gastos por medicamentos, lo que aumenta los costos de producción. De manera colateral el desarrollo de las aves se ve afectado en peso, grasa y masa muscular en general de la población, reduciendo ganancias esperadas. En algunas ocasiones el productor solo logra obtener los costos invertidos.
- Una vez realizado el levantamiento de campo e interpretación de los resultados, se le propuso al productor la automatización de un galpón con una capacidad de 1100 pollos, en el proyecto se propone controlar la temperatura, la humedad relativa, la oxigenación (control de dióxido de carbono (CO₂)), y la extracción de gases de amoníaco (NH₃) generados por los desechos de los mismos. Basado en 3 controladores que se distribuirán dentro del galpón obviamente con un sistema de control basado en un lazo de control Proporcional, Integral y Derivativo (PID), el cual trabaje de manera automática, según los parámetros configurados en el controlador.
- Por consiguiente el productor proporcionó los materiales y equipo antes mencionados: un controlador, los sensores, un extractor, un ventilador y un sistema de calefacción basado en resistencias acopladas a la tubería de PVC, en comunión con el ventilador teniendo un costo de aproximadamente 19115.00 pesos MXN.
- Finalmente se instaló el sistema de venteo, calefacción, extracción de gases y se calibró el sistema. Posteriormente se ingresaron en la galera 1100 pollitos de 10 días de nacidos, se colocó el sistema en automático y se fueron tomando muestreos continuos durante varios días en diferentes horarios para observar la desviación del proceso.
- A las 4 semanas los resultados fueron favorables, se logró reducir a 0.72% el índice de mortalidad, reportándose 8 aves muertas por atragantamiento durante el proceso. En general hubo un aprovechamiento de 48 aves más de lo que regularmente se espera.
- Durante el proceso no se registró enfermedades en vías respiratorias, esto es por el sistema implementado, esto impacta en dos vertientes la primera en ahorro de medicamento y personal especializado que vacunara y diera seguimiento. Y el más importante las aves no fueron contaminadas químicamente lo que reduce el riesgo en la población consumidora.
- Para la manipulación del sistema de control se aconseja previamente realizar una capacitación del personal de la granja mediante el uso del manual de usuario y mantenimiento, para evitar cualquier daño en el sistema o en la integridad del usuario.

Esta prueba piloto solo se desarrolló en una sola galera y aumentó ganancias, lo que deriva en la automatización de las otras galeras a corto plazo. Con este análisis de costo-beneficio se demuestra que existe una recuperación de la inversión a corto tiempo, ver Tabla 6.

Tabla 6. Costo-beneficio del proyecto.

Costos del sistema automatizado		Beneficio	Total
Costo implementación: la automatización de un galpón	\$19115.00	Disminución del índice de mortandad 2.28%	\$4200.00
Mantenimiento del galpón	\$1200.00	Reducción del 95 % en enfermedades virales (Gastos en medicamentos)	\$3500.00
		Reducción en costo de calefacción	\$1300.00
		Reducción de mano de obra (Responsable operativo)	\$2100.00
Costos totales	\$20315.00	Beneficios Totales	\$11100.00

Se considera que el clima juega un papel muy importante en nuestra región en el desempeño de los galpones con sistema manual. La temperatura y la humedad [10], [11], [12], influyen en los costos de producción de la granja de pollos, generando elevados índices de mortandad costos de medicamentos para contrarrestar este problema, por ello deben ser constantemente monitoreados. En este sentido la implementación de un sistema automatizado, puede responder de una manera más eficiente en los resultados [13].

4. Conclusiones

El sistema implementado en las galeras en un principio de acuerdo al estudio realizado en los muestreos se contempló controlar para las cuatro áreas, debido al costo económico solo un controlador se adaptó para las cuatro secciones.

La automatización de los procesos del sistema de control implementado en granja avícola, conlleva una gran inversión económica, pero a la vez reduce enormemente los costos-tiempos de producción y garantiza un producto de mayor calidad.

Los resultados del proyecto fueron satisfactorios, el índice de mortalidad bajo del 3%, con el sistema manual a un 0.72% con el sistema automatizado. La inversión del proyecto es fácilmente recuperable, debido al incremento de ganancias en base a los beneficios antes descritos.

Como resultado del proyecto, es posible concluir, que controlar la temperatura y extracción de amoníaco de un galpón, nos proporciona un mejor desarrollo del pollo y reduce el índice de mortandad.

5. Agradecimientos

Los autores desean expresar su agradecimiento a la carrera de Ingeniería Mecatrónica del Instituto Tecnológico Superior de Huachinango por el apoyo y las facilidades para el desarrollo de este trabajo.

6. Referencias

- [1] Unión Nacional de Avicultores. (2019). *Situación de la avicultura mexicana*. Recuperado de: <https://una.org.mx/industria/>
- [2] Lahoz Fuertes, D. (2012). *Control Ambiental en Galpones de Pollos*. Engormix. Recuperado de: <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/control-ambiental-galpones-pollos-t25959.htm>
- [3] O. Donald, J. (2009). *Manejo del Ambiente En el Galpón de Pollo de Engorde*. Aviagen, Inc. Recuperado de: http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Aviagen-Manejo-Ambiente-Galpn-Pollo-Engorde-2009.pdf
- [4] Modificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. (1994). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- [5] NMX-FF-080-SCFI-2006. (2006). Productos avícolas - Carne de pollo de engorda en canal y en piezas - Clasificación.
- [6] Norma Oficial Mexicana NOM-024-ZOO-1995. (1995). Especificaciones y características zoonosanitarias para el transporte de animales, sus productos y subproductos, productos químicos, farmacéuticos, biológicos y alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. Publicada en el DOF el 16 de octubre de 1995. Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural.
- [7] Norma Oficial Mexicana NOM-025-ZOO-1995. (1995). Características y especificaciones zoonosanitarias para las instalaciones, equipo y operación de establecimientos que fabriquen productos alimenticios para uso en animales o consumo por éstos. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- [8] Norma Oficial Mexicana NOM-061-ZOO-1999. (1999). Especificaciones zoonosanitarias de los productos alimenticios para consumo animal. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.
- [9] Norma Oficial Mexicana NOM-194-SSA1-2004. (2004). Productos y servicios. Especificaciones sanitarias en los establecimientos dedicados al sacrificio y faenado de los animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio. Especificaciones sanitarias de productos.
- [10] Estrada M., Márquez, S., Restrepo, L. (2007). Efecto de la temperatura y la humedad relativa en los parámetros productivos y la transferencia de calor en pollos de engorde, *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20 (3), 288-303. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295023025007>
- [11] Osuna Peraza, S. S., Suarez Lizárraga, G. C., Osuna Peraza, E. F., Peraza Garzón, A., Ortega Huizar, G., Gutiérrez Aguilar, R. (2017). Módulo de condensación de humedad del aire para la generación de agua utilizando como fuente de energía, las energías renovables. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Investigación (RITI)*, 5 (9), 31-42. Recuperado de: <http://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/31/33>
- [12] Erivan E., Ramos J. A. (2019). Instrumentación alternativa con arduino y la reconfiguración de capitales: un caso en la ingeniería civil. *Revista de Investigación en Tecnologías de la Investigación (RITI)*, 7 (13), 107-116. Recuperado de: <http://www.riti.es/ojs2018/inicio/index.php/riti/article/view/158/pdf>
- [13] Sánchez M. C., Conde A. A., Aguirre, F., Zamudio D. M. (2016). Consideraciones para emprendedores en ciernes: caso granjas avícolas. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 28, 295-306. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14146082002>