

# Estudio de las tecnologías de control utilizadas en las incubadoras avícolas.

*Study of the control technologies used in poultry incubators.*

Ing. Johnny Marcelo Pancha Ramos <sup>1\*</sup>, Ing. Edilberto Antonio Llanes Cedeño <sup>2</sup>

1\* Magister en Sistemas Automotrices MSC. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Email: [johnny.pancha@esepoch.edu.ec](mailto:johnny.pancha@esepoch.edu.ec) Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-7320-2154>

2. Doctor Dentro del Programa de Doctorado en Ingeniería Rural. Universidad Internacional SEK, Ecuador.

Email: [antonio.llanes@uisek.edu.ec](mailto:antonio.llanes@uisek.edu.ec) Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6739-7661>

Correspondencia: [johnny.pancha@esepoch.edu.ec](mailto:johnny.pancha@esepoch.edu.ec)

Recibido: 07/Abril/2020

Aceptado: 11/Mayo/2020

Publicado: 29/Junio/2020

**Resumen:** Las aves de corral corresponden una parte importante en la alimentación de los seres humanos debido a su crianza relativamente sencilla, valor nutricional y costo asequible en la mayor parte del mundo, desde hace miles de años se han criado estos animales con la intención de reproducirlos de la forma más óptima, a medida que la humanidad fue creciendo en número poblacional se vio la necesidad de optimizar los sistemas de crianza tradicionales avícolas con el objetivo de cubrir la creciente demanda, se descubrió por medio del estudio científico que el huevo de ave pueden ser incubado de forma artificial si se controlan variables ambientales como lo es la humedad y la temperatura. El presente trabajo tiene como objetivo general, analizar las tecnologías de control utilizadas en las incubadoras avícolas, a través de los aspectos científicos referentes a la reproducción avícola, los aspectos mecatrónicos involucrados dentro de las incubadoras, las técnicas de control implementadas en este tipo de equipos, como lo es el control ON/OFF, PID y difuso. La metodología utilizada se basa en un diseño bibliográfico, de tipo documental. Se llega a la conclusión de que las incubadoras avícolas son equipos mecatrónicos por la composición de sus partes y naturaleza de funcionamiento, además se exponen motivos de causa que justifican que el control PID sea el método de control por excelencia en las incubadoras avícolas comerciales.

**Palabras Clave:** Avícola, incubación, mecatrónica, control ON/OFF, PID, difuso.

**Abstract:** Poultry are an important part of the diet of human beings due to their relatively simple breeding, nutritional value and affordable cost in most of the world, for thousands of years these animals have been raised with the intention of reproducing them in the most optimal way, as humanity grew in population, it was necessary to optimize traditional poultry rearing systems in order to meet the growing demand, it was discovered through scientific study that bird eggs can be artificially incubated if environmental variables such as humidity and temperature are controlled. The general objective of this work is to analyze the scientific aspects related to poultry reproduction, the mechatronic aspects involved within the incubators, the control techniques implemented in this type of equipment, such as ON / OFF, PID and diffuse control. . The methodology used is based on a bibliographic documentation design, of the documentary type. It is concluded that poultry incubators are mechatronic equipment due to the composition of their parts and nature of operation, in addition reasons of cause are exposed that justify that PID control is the control method par excellence in commercial poultry incubators.

**Keywords:** Poultry, incubation, mechatronics, ON / OF control, PID, diffuse.

## INTRODUCCIÓN

**S**e conoce que el ser humano tiene al menos 8000 años consumiendo alimentos derivados de la cría de aves, en la actualidad la mayor parte del mundo complementa su alimentación diaria con los huevos y carne de estos animales; con la multiplicación de la población mundial luego del inicio de la era industrial se generó la necesidad de aumentar la producción de los productos avícolas para abastecer la demanda existente, ante esta problemática los estudios científicos relacionados a la reproducción avícola tomaron un impulso, descubriendo así que los huevos de las aves pueden ser incubados de forma artificial siempre que se cumplan ciertas condiciones de las variables del medio ambiente que rodea al huevo, de esta forma nacen las incubadoras avícolas artificiales.

Las incubadoras avícolas simulan el entorno que tendría un huevo si estuviera siendo incubado de forma natural, estas variables o condiciones a controlar son la temperatura, la humedad relativa, ventilación y movimientos periódicos en los huevos. Cada ave tiene condiciones particulares en su incubación, por ejemplo, las gallinas demoran entre 21 y 22 en nacer mientras que los avestruces demoran 39 días.

Los sistemas de incubación avícola son perfectamente automatizables, son equipos que se puede considerar mecatrónicas, dado que contemplan sistemas electrónicos de control de variables, también ameritan un mecanismo que permita mover los huevos en lapsos de tiempos programable.

Los tipos de sistema de control utilizados comúnmente para la creación de incubadoras avícolas son: control ON/OFF, control PID y el control difuso. A lo largo de esta investigación y por medio de la revisión bibliográfica será determinado que sistema de control es el idóneo para este tipo de equipos.

En este sentido, el objetivo general de esta investigación es, analizar las tecnologías de control utilizadas en las incubadoras avícolas. La metodología utilizada se basa en un diseño bibliográfico, de tipo documental.

## METODOLOGÍA

La metodología usada para la realización de este trabajo está basada en las técnicas de documentación bibliográfica. La revisión bibliográfica constituye una etapa esencial en el desarrollo de un trabajo científico y académico, implica consultar distintas fuentes de información (catálogos, bases de datos, buscadores, repositorios, etc.) y recuperar documentos en distintos formatos (Martín y Lafuente, 2017).

A partir de esa revisión bibliográfica, el investigador va construyendo el marco teórico, documentando antecedentes y elaborando la bibliografía que se incluye al final de un trabajo

científico o académico (Martín y Lafuente, 2017). Los objetivos de esta investigación están orientados a determinar los aspectos mecatrónicos implementados en las incubadoras avícolas comerciales, abarcando una investigación que exponga los mecanismos de control utilizados y cuál de ellos es el mejor.

## RESULTADO

### Definición e historia de la avicultura

Las aves han sido domesticadas durante miles de años. Evidencias arqueológicas sugieren que las gallinas domésticas existen en China desde hace 8000 años y que luego se expandieron hacia Europa occidental, posiblemente, a través de Rusia (Engels, 2011). La avicultura se viene practicando desde hace miles de años como una técnica relacionada con la cría de las aves y el aprovechamiento de sus productos. Es tal su impacto que luego de miles de años se sigue practicando y es parte de la alimentación diaria de un gran porcentaje de la población mundial.

### Incubación artificial

Es un procedimiento por medio del cual se mantienen los huevos puestos por un animal a una temperatura de calor constante, recibiendo aire fresco y volteando periódicamente los huevos para asimilar las condiciones a las naturales de temperatura y humedad (Alvarado y Vásquez, 2019)

La incubación artificial es un mecanismo que simula las condiciones ambientales que proporciona el ave en el momento de la incubación natural, para realizar una incubación artificial exitosa se debe conocer los requerimientos de temperatura, humedad relativa, ventilación de aire fresco y la frecuencia de volteo regular de los huevos.

### Temperatura en la incubación avícola

El calentamiento de los huevos durante la incubación se logra mediante el intercambio de calor entre el aire y los huevos. La temperatura óptima de incubación se encuentra en el rango de 37 y 38°C (Espinoza, 2019)

Es importante el manejo de la temperatura en los procesos de incubación artificial, si los huevos incubados son expuestos a temperaturas distintas al rango descrito se corre el riesgo de que el animal no se forme correctamente o directamente muera, es indispensable el uso de sensores de temperaturas para medir las condiciones térmicas del proceso de incubación.

### Humedad relativa en la incubación avícola

La humedad relativa ideal de incubación es de 50 a 55% para huevos blancos y de 55 a 60% para los huevos de color café (Espinoza, 2019). La humedad relativa es el porcentaje de agua que se encuentra en forma de gas dentro del aire del medio ambiente, si el porcentaje de humedad

relativa escapa del rango anterior mencionado, se corre el riesgo de que mueran los huevos incubados, es necesario implementar sensores de humedad relativa para asegurar los márgenes seguros dentro de los sistemas de incubación artificial.

### Sistema de ventilación en la incubación avícola

El aire fresco que toma la incubadora provee oxígeno y humedad para mantener una buena Hr (Tobar et al. 2020). La ventilación dentro de una incubadora avícola permite la circulación interna del aire y la renovación del aire

### Sistema de volteo en la incubación avícola

Otro factor que influye en la incubación de los huevos es el volteo ya que, si no se realiza, el embrión se quedaría pegado a las membranas de la cáscara, provocando su muerte (Gutiérrez et al. 2017). Al momento de aplicar ingeniería mecatrónica a un sistema de incubación artificial es preciso el diseño de un mecanismo temporizado que permita un movimiento automático de los huevos.

### Características según el ave a incubar

En la Tabla 1 se exponen las características de temperatura, humedad relativa, movimientos y tiempo de incubación, estos datos varían según el tipo de ave a incubar, las incubadoras modernas generalmente vienen preparadas para poder incubar varias especies de aves, con la observación de que las bandejas donde reposaran los huevos deben tener dimensiones específicas según el huevo del ave a incubar, dado que los huevos tienen un tamaño en específico en función de su raza.

**Tabla 1**

*Aspectos fundamentos durante el proceso de incubación según el tipo de ave:*

Tipo de Ave	Tiempo de Incubación (días)	Temperatura de Incubación	Humedad relativa en la Incubación	Movimientos del Huevo (mínimo de veces por día)
Gallina	21 a 22	37.5°C	60% tendiendo a subir.	4
Codorniz	16 a 17	37.5°C a 38.3°C	60% hasta el 14vo. Día y aumentando hasta la eclosión a 90%	2
Pato	28 a 30	20°C a 21°C	55% aumentando a 75% en los tres últimos días	3 (por un espacio de 8 hrs. cada vez)
Avestruz	39	36°C a 36.5°C	20% y 30%	8 a 10

Fuente: (Funez, 2020)

## Incubadoras avícolas automáticas

Controla mediante un sistema de temperatura y humedad todo el período de fecundación, consta de un sistema de rotación de huevos automático que gira por lapsos de tiempo (Canales, 2019). En la Figura 1 se observan las partes de una incubadora automática.

### Figura 1

Partes de una incubadora avícola automática:



Fuente: (Córdova, 2018)

### Sistema de control ON/OFF

El control ON/OFF con histéresis, esta estrategia consiste en aplicar toda la acción posible cuando el valor obtenido por el sensor es menor que el valor objetivo, y no realizar ninguna acción cuando es mayor (Bru, 2019)

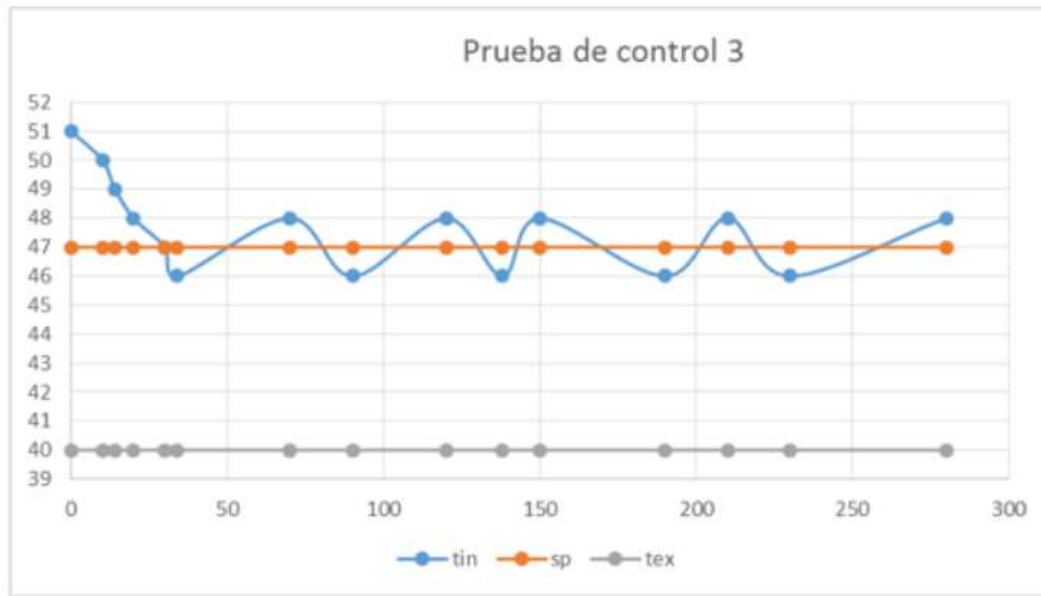
Este tipo de sistema consiste en encender o apagar un actuador en función de la magnitud de la variable a controlar, es el tipo de control más sencillo que existe. La ventaja de este tipo de sistemas radica en su sencillez, sin embargo, es un sistema incapaz de mantener una variable estable en situaciones donde se generan cambios bruscos.

### Incubadora avícola basada en control ON/OFF

Este es un tipo de incubadora que utiliza el control ON/OFF como mecanismo de control de las variables involucradas en el proceso de incubación, es decir, controla las variables de temperatura y humedad (Paez-Logueira, et al. 2017). En la Figura 2 se puede observar los resultados del control de temperatura de una incubadora de tipo de control ON/OFF.

**Figura 2**

*Prueba con un set-point de 7°C por encima de la temperatura externa de 47°C.:*



Fuente: (Paez-Logueira, et al. 2017)

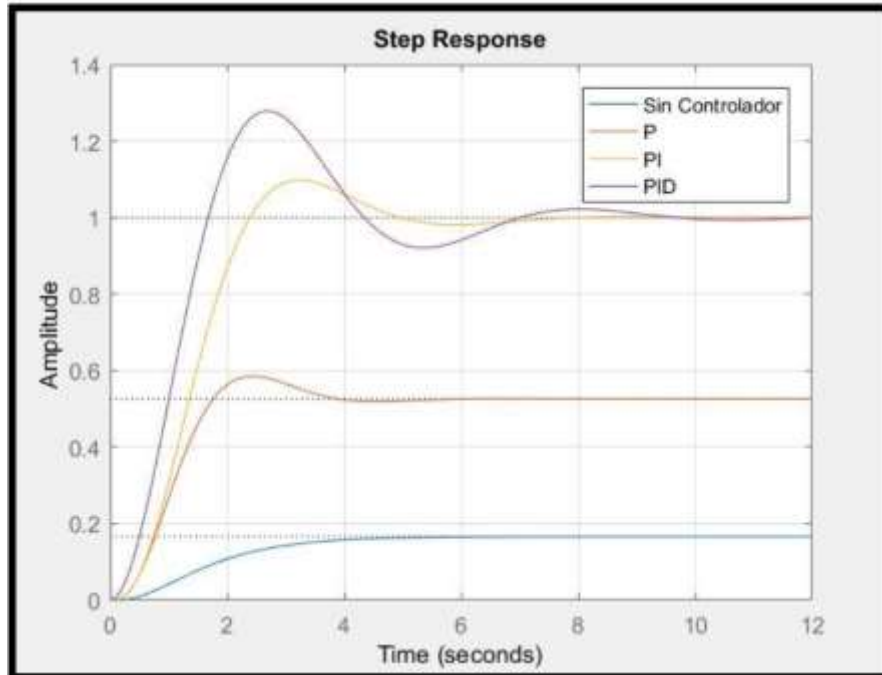
La naturaleza de un sistema de control ON/OFF no permite que sea posible mantener estable una variable ante cambios bruscos producidos en corto tiempo, esta característica es poco deseada para un sistema de incubación, dado que el margen de temperatura tolerable a controlar es muy pequeño, como se observa en la Figura 2, la temperatura oscila de forma brusca en el valor de prueba de un setpoint de 47°C.

### Incubadora avícola basada en control PID

Los sistemas PID consisten en aplicar un control proporcional que actúa en tiempo real, un control integrativo que toma en cuenta el comportamiento en tiempo pasado de la variable, y un control derivativo que es capaz de estimar la naturaleza de la variable en el futuro inmediato. El control PID es la estrategia de control más usada en las aplicaciones industriales; se estima que más del 90% de los lazos de control utilizan control PID (Ver Figura 3), (Sepúlveda, 2021).

**Figura 3**

*Control P, PI, PID graficado:*

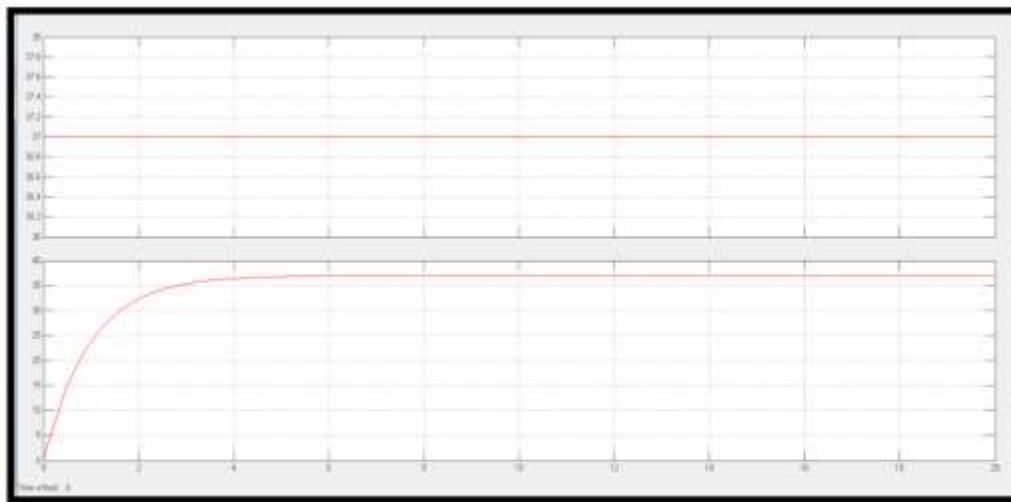


Fuente: (Vilchez, 2019)

En la Figura 4 podemos observar los resultados de la aplicación de un sistema de control basado en PID en una incubadora avícola.

**Figura 4**

*Control PID incubadora con setpoint de 37°C:*



Fuente: (Ortiz y Zuñiga, 2019)

Los resultados graficados en la Figura 4 revelan que el sistema PID aplicado en una incubadora avícola son satisfactorios, manteniendo de forma eficaz los valores de temperaturas deseados.

### **Incubadora avícola basada en control difuso.**

La técnica de lógica difusa o lógica fuzzy, permite extraer conclusiones cuantitativas a partir de esquemas difusos, vagos o ambiguos propios del razonamiento cualitativo de los humanos (García, et al. 2017). La lógica difusa es una técnica de control basada en inteligencia artificial.

En la Figura 5 se visualiza una gráfica de control de temperatura de una incubadora avícola que funciona bajo los principios de la lógica difusa.

### **Figura 5**

*Grafica de temperatura de un sistema de control de temperatura difuso:*



Fuente: (Fonseca et al, 2017)

Los resultados observados en esta grafica anterior revelan que el sistema de control difuso es capaz de mantener de forma estable un valor de setpoint de temperatura, los resultados son muy similares a los que se pueden obtener en un sistema de control PID.

### **Comparativa de control PID y Difuso en sistema de incubación**

Tanto el control PID como difuso son opciones recomendables para ser aplicados en un sistema de incubación avícola artificial, en la Tabla 2 se realiza una comparativa entre estos dos modelos de control.



**Tabla 2**

*Análisis comparativo de control PID y difuso aplicado a sistemas de incubación:*

Referencia (°C)	Tiempo de respuesta (Minutos)		de Sobretiro		Error en estado estable (°C)		Precisión (%)	
	PID	DIFUSO	PID	DIFUSO	PID	DIFUSO	PID	DIFUSO
30	14.475	1.980	0	0.0938	0.0276	0.0136	0.0921	0.0453
35	15.602	3.786	0	0.1022	0.0310	0.0167	0.0887	0.0477
40	15.750	7.637	0	0.1243	0.0281	0.0371	0.0703	0.0927

Fuente: (Aviléz, 2009)

Analizando la tabla 2 podemos decir que el control difuso presenta tiempos de respuesta a menores que el PID. Además, ambos controles presentan valores muy pequeños de error en estado estable, el control difuso tiene un error más pequeño. El difuso presenta una precisión bastante buena y responde mejor a las perturbaciones. La ventaja principal del PID se ve reflejada en el sobretiro nulo que presenta este en su respuesta, lo que asegura que nunca se exceda la referencia.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Luego de analizar toda la información obtenida por medio de la documentación bibliográfica se puede concluir que las incubadoras artificiales avícolas son sistemas mecatrónicos, dado que funcionan bajo la gobernanza de un sistema de control de variables físicas y cuentan además con mecanismos para el movimiento periódico de los huevos.

Se pudo comprobar que existen varios modelos de control para la creación o implementación de incubadoras avícolas, los cuales son los sistemas de control ON/OFF, PID y Difuso. De los sistemas mencionados, el primero arroja resultados desfavorables por lo tanto no se recomienda su uso, por otra parte, el control PID y difuso son capaces de llevar a cabo acciones de control eficaz para el manejo de las variables de temperatura y humedad dentro de las incubadoras avícolas.

Por medio de los datos obtenidos de la Tabla 2 se puede determinar que el sistema de control difuso es más rápido y estable en la mayoría de aspectos analizados en comparativa con el sistema de control PID, siendo este último únicamente superior en la capacidad de no presentar sobretiros, sin embargo es conocido que los sistemas de control difusos son de difícil calibración, además que la diferencia entre los tiempo de respuesta del control PID y difuso son muy pequeños, es necesario además, una gran iteración para encontrar la configuración idónea de un sistema de control difuso, esto explica el hecho de que la gran mayoría de incubadoras comerciales funcionan bajo el sistema PID y no el difuso, por lo anterior expuesto se concluye que el mejor sistema de control para una incubadora avícola artificial es el sistema de control PID.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, P., & Vásquez, V. (2019). Evaluación del efecto de la edad de la reproductora y la ubicación del huevo en la incubadora sobre la calidad del pollito bb. Calceta: Trabajo especial de grado de la Escuela superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Felix López para optar al título de Magister en Zootecnia Mención Producción Animal.
- Aviléz, J. (2009). El control difuso de temperatura de una incubadora. La Paz, Bolivia: XXII Jornadas en Ingeniería Eléctrica y Electrónica.
- Bru, S. (2019). Control de una incubadora mediante Arduino y Android. España: Trabajo especial de grado de la Universitat Politècnica de València para optar al título de Ingeniería Informática.
- Canales, K. (2019). Desarrollo de un prototipo de control de temperatura de una incubadora de pollos aplicando un sistema de ventilación y rotación de bajo presupuesto. Guayaquil: Trabajo especial de grado de la Universidad de Guayaquil para optar al título de Ingeniería en Teleinformática.
- Córdova, H. (2018). Los sistemas de Open Hardware “Arduino” en el control de los procesos de incubación de huevos de codorniz. Pucallpa, Perú: Trabajo especial de a Universidad Nacional de Ucayali .
- Engels, F. (2011). El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre. NoBooks Editorial.
- Espinoza, F. (2019). Construcción y evaluación del funcionamiento de un prototipo de incubadora para usos múltiples, Chachapoyas. Revista científica UNTRM: Ciencias Naturales e ingeniería 2(1) .
- Fonseca, S., Herrero, C., & Román, A. (2017). Incubadora automática de huevos de aves de corral, con capacidad de 100 huevos, natalidad del 70% monitoreo remoto y de bajo costo. Monografía de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- Funez, O. (2020). Incubadora de huevos de gallina de corral. Informe del Departamento de Ciencias e Ingeniería. Universidad del Caribe.
- García, R., Torres, J., Pinto, A., González, J. R., & Pérez, N. (2017). Diseño de una estrategia de control difuso aplicada al proceso de ultracongelación de alimentos. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 25(1) , 70-84.
- Gutiérrez, E., Sanabria, J., & Fonseca, A. (2017). Sistema de Monitoreo Y Regulacion de Variables Fisicas de una Incubadora de Codornices y su ProduccionAvicola en Zonas con

Altitudes Superiores a los 2000 MSNM. Colombia: Informe de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Martín, S., & Lafuente, V. (2017). Referencias bibliográficas: indicadores para su evaluación en trabajos científicos. *Investigación bibliotecológica*, 31(71) , 151-180.
- Ortiz, J., & Zuñiga, L. (2019). Diseño de un sistema de control automático de temperatura y humedad para una incubadora de huevos en la industria avícola. Lambayeque: Trabajo especial de grado de la Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo para optar al título de Ingeniero Electrónico.
- Paez-Logueira, H., Ramírez-Cerpa, E., Diaz-Charris, L., Lopez-Torres, S., & Miranda-Pupo, C. (2017). Control automático del set-point de un sistema de HVAC con Arduino, para un consumo energético eficiente y racional. *Revista Espacios* 38(61) .
- Sepúlveda, F. (2021). Desarrollo de una estrategia de control PID para el sistema bola yviga. Ocaña, Colombia: Trabajo especial de grado de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña para optar al título de Ingeniería Mecánica.
- Tobar, J., Cedeño, M., Molina, P., & Vasconez, C. (2020). Efecto del volteo y transferencia a la nacedora en la incubación artificial de huevos de codorniz japónica. *Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación*, 5(4) .
- Vilchez, J. (2019). Diseño e implementación de un sistema de control ambiental para la crianza de pollos para los galpones artesanales, en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas. Lima, Perú: Trabajo especial de grado de la Universidad Tecnológica del Perú para optar por el título de Ingeniero Mecatom.