



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN**

**PROTOCOLO DE TRABAJO MONOGRÁFICO**

**INCUBADORA AUTOMÁTICA DE HUEVOS DE AVES DE CORRAL,  
CON CAPACIDAD DE 100 HUEVOS, NATALIDAD DEL 70%,  
MONITOREO REMOTO Y DE BAJO COSTO.**

Presentado por: Br. Saúl Ernesto Fonseca Silva

Br. César Daniel Herrero Toruño

Br. Alexander Antonio Román Villalta

Tutor: Alejandro Alberto Méndez Talavera

Prof. Titular FEC

UNI

Noviembre 05, 2015

# Índice de contenido

INTRODUCCIÓN3

ANTECEDENTES5

JUSTIFICACIÓN8

## 1 OBJETIVOS **10**

1.1 OBJETIVO GENERAL10

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO10

## 2 MARCO TEÓRICO **11**

2.1 FACTORES QUE AFECTAN LA INCUBACIÓN ARTIFICIAL11

2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HUEVO INCUBABLE11

2.1.2 TEMPERATURA12

2.1.3 HUMEDAD13

2.1.4 VENTILACIÓN14

2.1.5 VOLTEÓ14

2.2 SISTEMA DE MEDICIÓN16

2.2.1 SUBSISTEMA DE MEDICIÓN DE TEMPERATURA16

2.2.2 SUBSISTEMA DE MEDICIÓN DE HUMEDAD18

2.3 CONTROLADOR20

2.3.1 TIPOS DE CONTROLADORES20

2.4 ACTUADORES22

2.4.1 SISTEMA DE CALEFACCIÓN22

2.4.2 SISTEMA DE VOLTEO24

2.4.3 SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN25

2.4.4 SISTEMA DE VENTILACIÓN26

2.5 SISTEMA DE MONITOREO26

2.5.1 MONITOREO COMPUTARIZADO26

2.6 DISEÑO DE LA INCUBADORA28

2.6.1 GABINETE28

2.6.2 BANDEJAS29

HIPÓTESIS Y VARIABLES31

DISEÑO METODOLÓGICO32

CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN:33

## BIBLIOGRAFÍA **34**

## Introducción

---

Como parte de un trabajo de desarrollo de la Unidad de Proyectos de Electrónica, se realizó un estudio en uno de los sectores productivos más importantes del país, el avícola. El sector está dividido en dos partes: Grandes productores (ANAPA) y pequeños y medianos productores (APEMEPAN). En base a conversaciones sostenidas con el representante de APEMEPAN, Lic. Félix Rosales, nos enteramos que existe una diferencia inmensa entre ambas partes, propiamente en el proceso de incubación artificial de huevos de aves de corral. Mientras que los miembros de ANAPA (Cargill, Avícola Estrella, Monisa) cuentan con los más modernos sistemas de incubación que pueden gestionar hasta 192,000 nacimientos de pollitos por semana, los miembros de APEMEPAN no tienen un sistema de incubación automatizado, sino que importan las aves desde El Salvador, lo que crea una dependencia extranjera en el 50% del sector avícola nacional.

A pesar que sería más rentable producir los pollitos nacionalmente, la ausencia de incubadoras en el mercado local que tengan un rendimiento similar al de la industria (85% de natalidad) pero que sean de menor escala y de bajo costo, además de la falta de granjas reproductoras en el país que permita la adquisición de huevos fértiles en lotes más pequeños gestionables por el sector, ha dificultado el desarrollo de la incubación artificial a pequeña escala. Pero según conversaciones sostenidas con el Lic. Félix Rosales, APEMEPAN ha presentado varias iniciativas al gobierno para la apertura de las primeras granjas reproductoras en el país, así que en los próximos años las granjas reproductoras serán una realidad en Nicaragua.

Como solución al problema descrito anteriormente, en este protocolo monográfico, se propone desarrollar un sistema de incubación a pequeña escala y de bajo costo que satisfaga las necesidades de los pequeños y medianos productores avícolas del país, incrementando la productividad en el sector, reduciendo la dependencia tecnológica del país y realizando un aporte intelectual a la sociedad nicaragüense en general.

El prototipo de incubadora propuesto tendrá una capacidad de 100 huevos con bandeja de nacimiento incluida. La estructura del prototipo será de materiales metálicos, recubierta de materiales aislantes en su interior. El controlador de la incubadora estará basado en lógica Fuzzy y será el responsable de realizar las acciones de corrección en las principales variables de interés como lo son la temperatura y la humedad, el controlador y el resto de subsistemas de la incubadora (volteo y ventilación) serán implementados con microcontroladores y sensores de alta precisión para lograr niveles óptimos de incubabilidad. El prototipo también contará con un sistema de monitoreo con interfaz web mediante acceso LAN, lo cual permitirá al usuario visualizar la planta de incubación de forma

gráfica, llevar un registro histórico de los lotes, calendario de manejo, entre otras funciones.

El desarrollo del proyecto permitiría demostrar que en el país contamos con las competencias requeridas para el desarrollo de soluciones y que la UNI es un elemento importante para el avance de la sociedad nicaragüense debido a que los profesionales graduados de dicha institución no solo reproducen el conocimiento existente, sino que de ser posible lo mejoran y lo ponen al alcance de la sociedad en general mediante informes escritos donde se detalla todo lo concerniente al proyecto de impacto social que se esté desarrollando, todo ciudadano puede acceder a los informes que los graduados entregan a la universidad, reproducirlos, implementarlos y de ser posible hasta mejorarlos, siendo así la UNI un elemento transformador y con una incidencia directa en el desarrollo de la sociedad nicaragüense. Los resultados del proyecto pueden servir como referencia para investigaciones posteriores en búsqueda de mejorar la productividad avícola del país.

## Antecedentes

---

La incubación artificial es una práctica muy antigua, se tienen registros de esta desde hace unos 3,000 años atrás. Los primeros métodos de incubación eran predominantemente artesanales y no arrojaban buenos resultados, fue hasta la década de 1930 con la inserción del control eléctrico y las técnicas de control moderno que se revolucionó la industria de la crianza de aves de corral, logrando la producción a gran escala.

La incubación artificial siguió desarrollándose debido a dos factores: el incremento de las operaciones, como el número de nacimientos que se debían alcanzar para satisfacer la demanda y el desarrollo de la tecnología. Hoy en día las incubadoras cuentan con los más modernos sistemas de control de temperatura, humedad, volteo y ventilación; capaces de producir hasta 1.5 millones de nacimientos de pollitos a la semana, en países más desarrollados.

El objetivo principal de cualquier incubadora es alcanzar el mayor número de nacimientos, de la mejor calidad y al menor costo posible, siguiendo esta directriz, diferentes individuos han realizado trabajos experimentales a pequeña escala, en vista a mejorar las características de estos dispositivos y aplicar el conocimiento adquirido en sistemas de incubación de mayor escala y de esta forma obtener una mayor productividad.

En la revisión de los trabajos monográficos desarrollados en la Universidad Nacional de Ingeniería no se encontraron documentos relacionados con la incubación artificial, solo se han elaborado incubadoras como parte de trabajos de fin de curso, pero sin dejar ningún documento que respalde el conocimiento en el alma mater. Además, que las incubadoras desarrolladas en los proyectos semestrales no cumplen con una serie de normas de los manuales de Cobb-Vantress y cabe mencionar que ninguno de los proyectos de cursos que han sido realizados en la UNI ha sido probado con un lote real de huevos fértiles.

Uno de los elementos principales del sistema es la tecnología del controlador y la misma debe ser determinada de forma tal que satisfaga los requerimientos del sistema. Uno de los requerimientos para este proyecto es el costo y eficiencia de la incubadora en general, siguiendo esta directriz se encontró el trabajo realizado por *Bárcenas Et alii. (2007)*, en su informe ellos concluyen que al usar microcontroladores se puede lograr un ahorro energético de hasta un 30% y un ahorro en consumo de agua del 66%. También señalaron que “la utilización de sensores de precisión permite obtener una tasa de natalidad del 95%, con una mejora sustancial con respecto a incubadoras que utilizan controles convencionales que ofrecen un 80% de natalidad” (p. 6).

Otro de los requerimientos para este proyecto es el uso de un sistema de monitoreo remoto que le facilite al productor avícola la correcta gestión de los lotes

de huevos fértiles y de la planta de incubación. Al realizar la revisión bibliográfica se encontró que las incubadoras comerciales que cuentan con monitoreo computarizado son generalmente de gran capacidad (>30,000 huevos). No se encontraron incubadoras con capacidad igual a la propuesta para este prototipo y que a su vez cuenten con la función de monitoreo, salvo los prototipos universitarios no comerciales que si cuentan con dicha función, tal es el caso de la incubadora desarrollada por Garnica y Martínez (2011), en su tesis monográfica ellos aseguran que " el software LabView sería una buena herramienta si se deseara realizar la monitorización de las variables en la incubadora de forma computarizada".

La temperatura del embrión se ve afectada por diversos factores que están íntimamente correlacionados, por lo que se requiere que el método de control a implementar tenga la capacidad de controlar más de una variable a la vez. En este caso Garnica y Martínez (2011) también hablan sobre un método de control alternativo, ellos reportan en su informe final que "a pesar que el control de espacio de estados no es una técnica muy usada en las incubadoras comerciales, resulta ser una muy buena opción cuando se controlan dos variables simultáneamente" (p. 66).

Además de que el método de control ofrezca la facilidad de corregir más de una variable, también se debe tener en cuenta el costo de implementación del mismo, siguiendo esta última directriz se encontró el informe realizado por Badillo y Reyes (2011) sobre la elaboración de una incubadora, donde señalan que "el uso de controladores basados en lógica difusa permite obtener prototipos rápidamente y su desarrollo es más económico, aunque requirieron mayor simulación y pruebas antes de lograr que el sistema fuera operacional" (p.78).

Las incubadoras pueden ser hechas de diferentes materiales, pero se han trazado ciertas directrices a nivel industrial sobre los materiales de los cuales deben ser elaboradas. Cobb-Vantress (2013) recomienda que los materiales del dispositivo de incubación deben ser buenos aislantes térmicos, fáciles de limpiar y que no fomenten el desarrollo de hongos y otras cargas patógenas. En este proyecto también se requiere, además de las características antes mencionadas, que los materiales sean de bajo costo, siguiendo esta última directriz se encontró el trabajo investigativo de López (2006) donde se compara el unicel y el cartón como alternativas de bajo costo para la elaboración de incubadoras y se concluye que, "el unicel es más eficiente que el cartón, aunque es más caro". También se reporta que "el uso de focos incandescentes como fuente de calor y termostatos de oblea de éter inyectado como sistema de regulación de temperatura hacen más eficientes a las incubadoras con contenedor de unicel" (p. 31).

Las directrices generales que sigue este proyecto monográfico son la eficiencia energética de la incubadora, el abaratamiento de los costes de producción de la misma, así como la anexión de otras características adicionales como sistemas de

monitoreo computarizado y la implementación de las técnicas de control que brinden los mejores resultados para esta aplicación. En base a las directrices antes mencionadas se ha realizado toda la revisión del trabajo relacionado.

## Justificación

---

El sistema de incubación artificial propuesto brindará una solución a los problemas que enfrentan los pequeños y medianos productores, a un costo viable, en lo que respecta a: la tecnificación del sector, incremento en la productividad y reducción de la dependencia extranjera debido a la importación de pollitos. Dicho sistema garantizará niveles de incubabilidad aceptables (>70%) y al usar un sistema de calefacción alternativo para esta aplicación (basado en gas), sumado a un buen aislamiento térmico de la estructura y el uso de componentes electrónicos de bajo consumo, se garantizará un ahorro energético en comparación con las incubadoras comerciales que usan sistemas de calefacción tradicionales para esta aplicación (basados en focos incandescentes o resistencias eléctricas) y que ofrecen un pobre aislamiento térmico.

El sistema de incubación será producido nacionalmente, lo que quiere decir que el soporte técnico estará garantizado, reduciendo así la dependencia extranjera que se presenta hasta en la industria más desarrollada del país, donde los desarrolladores de los cuartos de incubación son de procedencia extranjera. Asimismo, la mayoría de los materiales utilizados existen en el mercado nacional, lo que reduciría el tiempo promedio entre reparaciones, aminorando de esta forma su impacto en el ciclo productivo de las avícolas.

Las contribuciones más significativas de este estudio pueden ser:

- ✓ Reducción de las diferencias de competitividad en el sector avícola.
- ✓ Reducción de la balanza comercial negativa del sector avícola debido a la dependencia extranjera.
- ✓ Aporte a la tecnificación del sector agropecuario.
- ✓ Incremento de la producción en uno de los sectores más sensibles para la población nicaragüense.
- ✓ Desarrollo de la productividad avícola, de modo que el efecto de la desgravación de carne de pollo (muslo y pierna), provenientes de EEUU debido al DR-CAFTA, sea menor.
- ✓ Desarrollo de competencias para solucionar problemas relacionados con la incubabilidad y la ventana de nacimiento. Mayor comprensión y experiencia alrededor de las tecnologías y técnicas de incubación artificial.
- ✓ Mostrar que la Universidad Nacional de Ingeniería forma profesionales competentes y comprometidos con la solución de problemas que afectan a la sociedad nicaragüense.

Con el proyecto se desarrollará un sistema que, de manera integral, utilizará las técnicas de incubación artificial más adecuadas, los esquemas de control óptimos para este tipo de aplicación y las tecnologías de comunicación más convenientes. Además, al usar materiales de bajo costo y existentes en el mercado nacional para



la elaboración de la estructura de la incubadora, el costo de la misma será menor en comparación con incubadoras comerciales que tengan las mismas características y se importen desde otros países. Todo esto con el fin de mejorar la productividad de las pequeñas avícolas.

# 1 Objetivos

---

## 1.1 **Objetivo general:**

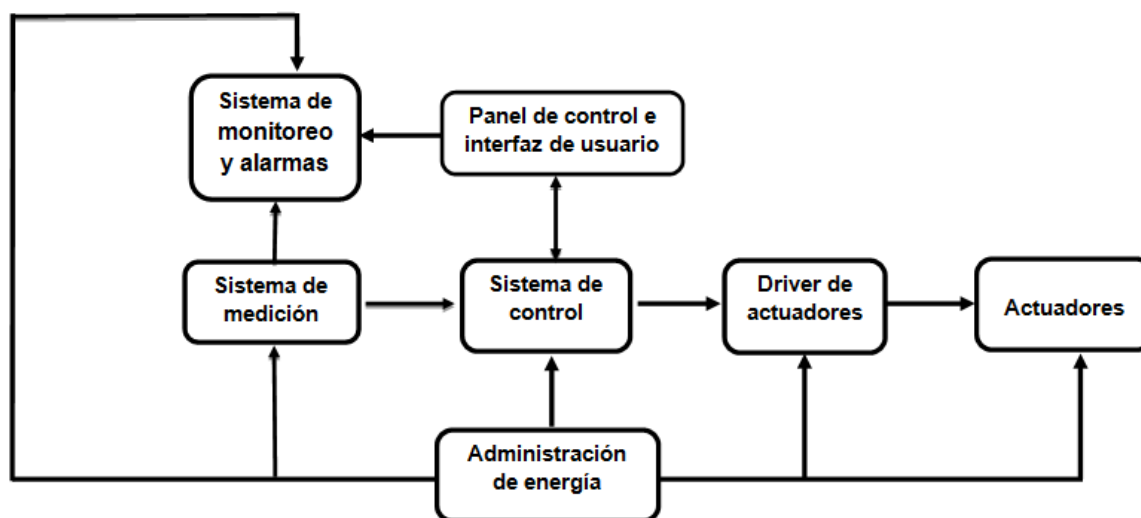
Desarrollar una incubadora automática de huevos de aves de corral, con capacidad de 100 huevos, natalidad del 70%, monitoreo remoto y de bajo costo.

## 1.2 **Objetivos específicos:**

- Diseñar los subsistemas de la incubadora, incluyendo la gestión de la alimentación y la interface del sistema.
- Verificar, mediante simulación, la efectividad de los subsistemas diseñados y la coordinación simultánea de los mismos.
- Verificar el funcionamiento de los subsistemas mediante la implementación de los mismos.
- Diseñar y construir la estructura de la incubadora.
- Diseñar, construir y probar los circuitos impresos de los subsistemas.
- Verificar el funcionamiento del sistema garantizando el cumplimiento de los requerimientos y especificaciones establecidas.

## 2 Marco Teórico

El sistema de incubación artificial propuesto en este protocolo monográfico, está conformado por los subsistemas de: medición, control, actuadores y monitoreo. En este apartado se presentarán los fundamentos teóricos y tecnológicos sobre los que se sustentan cada uno de los subsistemas.



### 2.1 Factores que afectan la incubación artificial

La incubabilidad está influenciada por muchos factores, algunos de estos son responsabilidad de la granja de reproducción y otros son responsabilidad de la granja de incubación. La edad de las reproductoras, por ejemplo, es un factor de influencia de las granjas de reproducción; entre más viejos sean los reproductores pesados, la incubabilidad de los lotes será menor. En el presente trabajo nos centraremos en los factores que puede influenciar la planta de incubación, los cuales son: temperatura, humedad, volteo y ventilación.

#### 2.1.1 Características físicas del huevo incubable

Uno de los principales factores que afecta la incubabilidad de un lote determinado es justamente la calidad de la materia prima con la cual se está trabajando, es decir los huevos.

Según Cobb-Vantress (2013), para que se alcance una óptima incubabilidad se debe realizar un buen manejo del huevo, ya que una vez que el huevo ha sido puesto, su potencial de nacimiento puede ser mantenido más no mejorado. Un mal manejo del huevo afectaría directamente las células vivas que lo componen.

Para tener influencia sobre la calidad de los huevos que serán ingresados en la incubadora, se debe de llevar a cabo un proceso de selección meticulosa basado en las directrices del manual de incubación de COBB-VANTRESS.

Cobb-Vantress (2013), cita las siguientes recomendaciones en cuanto a la selección del huevo incubable y su manejo:

- ✓ No usar huevos de piso, solo los que son colocados en los nidos.
- ✓ Evitar huevos con grietas.
- ✓ Colocar los huevos cuidadosamente en las bandejas de incubación con el extremo más pequeño del huevo dirigido hacia abajo.
- ✓ Mantener la sala de huevos limpia y pulcra.
- ✓ Remover huevos sucios, agrietados, pequeños, muy grandes o doble yema, malas calidades de cáscaras, deformes, alongadas, redondas y arrugadas.
- ✓ Cualquier color de huevo es aceptable para incubar.



**Huevo Óptimo**

Para efectos de esta tesis se trabajará con huevos criollos obtenidos de una granja de crianza de aves ubicada en la comarca “El Comején” de Masaya, a un costo de C\$8.00/u, debido a que en el país aún no existen granjas reproductoras de las líneas de pollo genéticamente alteradas de alto rendimiento como son las Cobb500 y Ross308.

### **2.1.2 Temperatura**

La temperatura es el factor más importante que afecta la incubabilidad, variaciones leves en la misma pueden producir cambios importantes en la ventana de nacimiento y daños irreversibles en la calidad del pollito. El resto de factores que afectan la incubación lo hacen debido a que afectan directamente la distribución de la temperatura en toda la incubadora.

Existen dos tipos de incubadoras, según la clasificación del modo de ventilación que usan: aire en reposo y circulación de aire forzada. En el presente protocolo se

propone hacer uso de un sistema de distribución de temperatura en base a circulación de aire forzado porque las diferencias entre la temperatura de la incubadora y la temperatura del embrión son despreciables.

Durante la primera semana de incubación, la temperatura del embrión es poco menor que la temperatura de la incubadora, debido principalmente a que este pierde un 12% de su peso mediante evaporación, la cual contribuye al enfriamiento del embrión. Pero desde la mitad del proceso de incubación en adelante, la producción de calor metabólico del embrión eleva la temperatura del mismo por encima de la temperatura de la incubadora. Los últimos 2.5 días se pasa del modo de incubación al modo de nacimiento, en dicho modo la temperatura es un grado menor que la temperatura en el modo de incubación.

British United Turkeys (B.U.T, por sus siglas en ingles), afirma que la temperatura del embrión, no depende únicamente de la temperatura de la incubadora, sino que también es influenciada por la producción de calor metabólico del embrión, conductividad térmica de la cascara del huevo y del aire que lo rodea. En el presente trabajo se tendrá influencia únicamente sobre la temperatura de la incubadora y sobre la ventilación para garantizar la temperatura óptima de incubación que es de 37.8°C para incubadoras de aire forzado, según Cobb-Vantress (2013).

### **2.1.3 Humedad**

Mantener un cierto nivel de humedad es vital para el desarrollo de los embriones, en general se sabe que el aire húmedo presenta una buena conductividad térmica, por lo cual se debe mantener la humedad relativa en los valores especificados por los criadores profesionales, para contribuir a la distribución uniforme de la temperatura en la incubadora.

Asimismo, los embriones se hidratan a través de la humedad en el ambiente. En la fase de nacimiento se deben elevar, de forma artificial, considerablemente los niveles de humedad relativa en el ambiente para ablandar la cáscara de los huevos y así contribuir a la eclosión de los mismos. Espinoza y Matey (2009) nos informan de los problemas que ocasiona no mantener el nivel óptimo de humedad que según Cobb-Vantress (2013) es del 53% durante el modo de incubación y de un 70% en el modo de nacimiento. Las consecuencias adversas son las siguientes:

- ✓ Si la humedad es baja, el huevo perderá mucha agua, se deshidratará, los pollitos que nazcan serán más pequeños, con un aspecto reseco y áspero.
- ✓ La baja humedad en la nacedora, causa también la muerte de muchos pollitos dentro del cascarón o una alta incidencia de los que picaron el

cascarón y no nacieron, los que logran nacer serán débiles y tendrán problemas de alta mortalidad durante la primera semana de vida en las granjas.

- ✓ Si la humedad es alta, el embrión no se oxigena lo suficiente, lo que producirá asfixia, o bien intoxicación al no poder eliminar el dióxido de carbono, tampoco el huevo podrá eliminar la humedad de su interior y muchos pollitos al nacer se notarán esponjosos, con el abdomen abultado y grande.

#### **2.1.4 Ventilación**

Otro elemento importante que afecta la incubabilidad de los huevos es la ventilación, ya que esta influye directamente en la temperatura circundante a los huevos. B.U.T (1997), relaciona la temperatura y la ventilación de la incubadora de la siguiente forma: “El aumento de la temperatura del aire conforme pasa sobre los huevos, es inversamente proporcional al flujo del volumen de aire y por lo tanto el control uniforme de la temperatura del huevo dentro de la incubadora depende del movimiento uniforme del aire alrededor de los huevos”.

Garnica y Martínez (2011) enumeran tres funciones importantes de la ventilación:

- ✓ Proporcionar de aire fresco del exterior, a los embriones y mantener los niveles oxígeno en la incubadora por encima del 20%.
- ✓ Expulsar el  $CO_2$  producido por los embriones y mantener el nivel del mismo siempre por debajo del 0.5%, salvo en el modo de nacedora que se puede subir hasta un 0.8% para motivar a la eclosión de los pollitos.
- ✓ Repartir uniformemente la temperatura y humedad en la incubadora.

En este protocolo monográfico se propone desarrollar una incubadora de 100 huevos, por lo que se garantizará el volumen de aire recomendado por Cobb-Vantress (2013) el cual es de 1cfm. De igual forma, se seguirán las recomendaciones mostradas por B.U.T (1997) en su informe, donde se asevera que la temperatura del huevo es óptima si se logra mantener constante la velocidad del aire en 2.10 m/s y la velocidad del abanico en 120 rev/min.

#### **2.1.5 Volteo**

El volteo es también un actor fundamental en el proceso de incubación. Es crítico mantener un volteo continuo durante la primera semana de incubación, luego de la

primera semana se mantiene el volteo para mejorar la circulación de aire en la incubadora y se vuelve completamente innecesario después de los 18 días del proceso de incubación, la función de suprimir el volteo automático una vez iniciado el modo de nacimiento se hará usando un reloj en tiempo real con calendario incluido, cuando la unidad de control haya constatado mediante el reloj-calendario que el proceso de incubación ya terminó y es necesario iniciar el proceso de nacimiento, se suprimirá de forma automática el volteo de los huevos colocando las bandejas de incubación en una posición horizontal durante 2.5 días, que es la duración del proceso de nacimiento. Una vez culminado el tiempo para el proceso de nacimiento, se hará saber al usuario mediante el sistema de monitoreo que se pueden retirar los pollitos de la incubadora en cualquier momento.

Cobb-Vantress (2013) especifica que los huevos deben ser volteados durante el proceso de incubación. Esto evita que el embrión se pegue a las membranas de la cáscara, particularmente en la primera semana de incubación y ayuda al desarrollo de las membranas del embrión.

Cobb-Vantress (2013) asegura que a medida que el embrión se desarrolla y la producción de calor aumenta, un volteo regular ayudará al flujo del aire y por tanto al enfriamiento.

Espinoza y Matey (2010) reportan que “las máquinas incubadoras en la empresa PIPASA están programadas para efectuar el volteo lateral automático de 45° cada hora, durante los 18 días del proceso de incubación”.

Este dato concuerda con Vázquez (2008), citado por Espinoza y Matey (2010), que recomienda que “el ángulo de volteo de los huevos debe ser 45° respecto de la vertical, de tal forma que en 2 horas los huevos hayan girado 90°”.

Según Espinoza y Matey “el objetivo de voltear los huevos es exponer a los embriones a los nutrientes y oxígeno, así como evitar que estos toquen la cáscara y se queden pegados ocasionándoles la muerte, particularmente en los primeros seis días de incubación, en los cuales el embrión se encuentra por debajo de la yema y muy cercano a la cáscara”.

Jiménez y Veloza (2008) argumentan que el protocolo de volteo que arroja los mejores resultados es el siguiente: inclinar los huevos 45° a la derecha durante una hora, colocarlos en posición horizontal una hora más y ubicarlos 45° a la izquierda durante otra hora. Este patrón se debe repetir durante los primeros 18 días del proceso, luego se vuelve innecesario.

## 2.2 Sistema de Medición

### 2.2.1 Subsistema de medición de temperatura

Para la medición de temperatura, los principales instrumentos de los que disponemos hoy día son:

- **Cámaras Infrarrojas:** éstas utilizan sensores enfriados al vacío que son más susceptibles a variaciones electromagnéticas, y usan una serie de gama de colores infrarrojos, para así, determinar la temperatura.
- **Termómetros Digitales:** mediante un sensor de temperatura parecido al de las cámaras infrarrojas obtienen la temperatura exacta de un objeto a distancia, para mayor precisión tienen un láser para apuntar directo a la zona que se va a medir o al objeto.
- **Termopares:** es un circuito formado por dos metales distintos que produce un voltaje siempre y cuando los metales se encuentren a temperaturas diferentes. En electrónica, los termopares o termocuplas son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas.
- **Termistor:** son sensores de temperatura resistivos donde el elemento sensor cambia su resistencia de acuerdo con las variaciones de temperatura. Existen dos tipos de termistor, aquellos cuya resistencia aumenta en función de la temperatura, también llamados PTC (Positive Temperature Coefficient) y aquellos cuya resistencia disminuye conforme aumenta la temperatura, llamados NTC (Negative Temperature Coefficient).
- **Circuito Integrado:** Es un sensor de temperatura integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura en °C (grados centígrados).

De acuerdo con Ibrahim (2002) “para la elección del sensor se deben de tomar en cuenta diferentes parámetros como: precisión de los datos, rango de temperatura, velocidad de respuesta, el ambiente (Químico, Eléctrico o Físico) y el costo”. (p.61) Además hemos incluido algunos parámetros extras como lo son la exactitud, facilidad de uso, costo de mantenimiento, linealidad, conexión directa al micro controlador y el tamaño. Entre las tecnologías anteriormente citadas, todas pueden presentar alguna de las características necesarias para su uso en nuestro estudio, por lo tanto presentamos una tabla comparativa:



Característica técnica necesaria 0-5	Cámara Infrarroja	Termómetro Digital	Termocupla	Termistor	Circuito Integrado	RTD
Precisión (Alta) 5	✓ 4	✓	✓	✓	✓	✓
Exactitud ( $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ) 4	✓ 3	✓	x	✓	✓	✓
Tamaño reducido 5	x 1	✓	✓	✓	✓ 5	x
Velocidad de respuesta (Rápido)	✓ 2	✓	✓	✓	✓	x
Facilidad de uso	x	✓	✓	x	✓	x
Costo inicial (Bajo)	x	x	✓	x	✓	x
Costo de mantenimiento (Bajo)	x	x	✓	x	✓	x
Linealidad ( $> 90\%$ )	✓	x	x	x	✓	✓
Rango de temperatura ( $20-50^{\circ}\text{C}$ )	✓	✓	✓	✓	✓	x
Conexión a micro controlador (One-Wire, SPI, I2C, ADC)	x	x	✓	✓	✓	x

Luego de haber hecho la comparación se llegó a la conclusión que la mejor opción para este proyecto es la utilización de circuitos integrados.

En general hay dos tipos de sensores en circuitos integrados, análogos (cuya salida puede ser voltaje, corriente o resistencia) y digitales cuyo funcionamiento es de baja potencia. Al realizar la revisión de los diferentes componentes que existen en el mercado se encontró que los integrados más usados para aplicaciones similares al proyecto propuesto son: LM34, LM35DZ, AD590 y DS18B20. Para la elección del circuito integrado se tomaron en cuenta parámetros como exactitud ( $< 0.5^{\circ}\text{C}$ ), calibración directa en grados centígrados, linealidad (por debajo de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ) y costo, a como se muestra en la siguiente tabla:

Característica técnica necesaria	LM34	LM35	AD590	DS18B20
Linealidad ( $< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ )	✓	✓	✓	✓
Exactitud ( $< \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ )	✓	✓	✓	✓
Costo inicial relativamente bajo	✓	✓	x	x
Calibración directa en grados centígrados	x	✓	x	✓

Como se puede apreciar el circuito integrado que será usado será el LM35DZ debido a su característica de ser altamente lineal, al ser de tamaño reducido será

más cómoda su instalación y su facilidad de ser conectado directamente al microcontrolador mediante su convertidor analógico-digital, siempre y cuando no se requiera mostrar en el display un número de decimales distinto a 0.5, para tal caso se hará necesario el uso de circuitería extra.

El LM35DZ no requiere ninguna calibración externa o ajuste para proporcionar una precisión típica de  $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$  a temperatura ambiente y  $\pm 0.75^{\circ}\text{C}$  a lo largo de su rango de temperatura (de  $-55^{\circ}$  a  $150^{\circ}\text{C}$ ). El dispositivo se ajusta y calibra durante el proceso de producción. La baja impedancia de salida lineal y la precisa calibración inherente, permiten la creación de circuitos de lectura o control especialmente sencillos. El sensor puede ser utilizado con una sola fuente de voltaje o con voltajes positivos y negativos. La corriente consumida por el sensor es de apenas  $60\mu\text{A}$  por consiguiente tiene muy poco calentamiento, típicamente es de  $0.1^{\circ}\text{C}$ . Nuestro estudio considera el uso de circuitos de acondicionamiento para de esta manera incrementar la exactitud de las mediciones hechas por el sensor, si bien el uso de este circuito de acondicionamiento incrementa el costo de producción, no lo hace en gran medida, comparado a las demás tecnologías.

### 2.2.2 Subsistema de medición de humedad

Entre los instrumentos que tenemos hoy en día para la medición de humedad se destacan los siguientes:

- **Higrómetro:** es un instrumento que se utiliza para medir el grado de humedad en el aire. Los higrómetros a medida están disponibles en versiones que también miden la temperatura, a estos últimos se les llama termo-higrómetros.
- **Termómetro de bulbo húmedo:** para medir el influjo de humedad en la sensación térmica. Junto con un termómetro ordinario (bulbo seco) forma un psicómetro, que sirve para medir la humedad relativa.
- **Hidrotermografo:** realiza la medición simultánea de la temperatura y la humedad simultánea. La humedad relativa se obtiene a través de un haz de cabello que se alarga o contrae producto de la mayor o menor cantidad de vapor de agua en la atmósfera.

- **Circuito integrado:** es un sensor de humedad integrado de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la humedad relativa en porcentaje (%).

Vaisala (2012) recomienda que la selección del sensor de humedad debe basarse en los siguientes parámetros: tiempo de respuesta rápido, rango óptimo de medición, buena tolerancia química, alta precisión. Además, hemos incluido algunos parámetros extras como lo son la exactitud, facilidad de uso, costo de mantenimiento, linealidad, conexión directa al micro controlador y el tamaño. Entre las tecnologías anteriormente citadas, todas pueden presentar alguna de las características necesarias para su uso en este estudio, por lo tanto se presenta una tabla comparativa:

Característica técnica necesaria	Higrómetro	Termómetro de bulbo húmedo	Hidrotermografo	Circuito Integrado
Precisión (Alta)	✓	✓	✓	✓
Exactitud ( $\pm 10\%$ )	✓	✓	✓	✓
Tamaño reducido	x	x	x	✓
Velocidad de respuesta (Rápido)	✓	x	✓	✓
Facilidad de uso	x	x	x	✓
Costo inicial (Bajo)	x	✓	x	x
Costo de mantenimiento (Bajo)	x	✓	x	✓
Linealidad ( $> 90\%$ )	x	x	x	✓
Rango de temperatura (0-100%)	✓	✓	✓	✓
Conexión a micro controlador (One-Wire, SPI, I2C, ADC)	x	x	x	✓

Luego de haber hecho la comparación se llegó a la conclusión que la mejor opción para este proyecto es la utilización de circuitos integrados, el cual en este caso será el HIH4000 debido a su características de ser altamente lineal, al ser de tamaño reducido será más cómoda su instalación, además que tiene una salida de voltaje casi lineal, que lo hace capaz de conectarse a un microcontrolador, a través de su convertidor analógico-digital, siempre y cuando el numero mostrado en el display sea entero sin decimales, para tal caso se hará necesario el uso de circuitería extra.

El sensor es de bajo consumo, 200 $\mu$ A propiamente. La temperatura máxima en la que puede operar este sensor es de 150°C por lo que no tendrá ningún problema al operar en el ambiente de la incubadora. Presenta una precisión de  $\pm 0.5\%$  y

exactitud de  $\pm 3.5\%$ , lo que es excelente ya que Cobb-Vantress (2013) explica que los huevos no son tan susceptibles a los cambios de humedad y que pueden tolerar hasta un 10% de desviación de la humedad óptima. Asimismo, los elementos multicapas utilizados para la construcción de este sensor proveen una excelente resistencia para la mayoría de aplicaciones que estén en un ambiente con polvo, suciedad, riego, aceites y ambientes químicos comunes. Además, este sensor es “intercambiable” y esto reduce los costos de calibración.

## 2.3 Controlador

Para el desarrollo de este proyecto se han estudiado y analizado las características de cada sistema de control llegando a la conclusión que el sistema retroalimentado de lazo cerrado es el que mejor se adapta a los requerimientos de este proyecto dado que garantiza la respuesta del sistema a pesar de las perturbaciones que se puedan dar en la entrada del mismo. Según Ogata (2010) “en el sistema de lazo cerrado es posible usar componentes relativamente poco precisos y baratos para obtener el control adecuado de una planta determinada, mientras que hacer eso es imposible en el caso de un sistema en lazo abierto”. (p. 8)

### 2.3.1 Tipos de controladores

#### **Controlador Fuzzy**

De acuerdo con Salas y Alomoto (2013) “los controladores Fuzzy, al igual que otros, toman los valores de las variables de entrada, realizan algún procedimiento con ellas, deciden como modificar las variables de salida y lo realizan, afectando estas últimas en la planta. La diferencia esencial es que no procesan ecuaciones ni tablas, procesan reglas para decidir cómo cambiar las salidas. Esto lo hace una tecnología muy accesible, ya que las reglas están más cerca del sentido común que las ecuaciones y los modelos”.

#### **Controlador PID**

Maloney (2006) explica que: “se pueden obtener variaciones a este esquema consistentes en la no introducción de los términos derivativo e integral; en dicho caso el control coincide con el llamado control proporcional. Si solamente se prescinde de la acción integral, el control se denomina control proporcional derivativo (PD). Si, por el contrario, el único término que desaparece es el derivativo, el control se denomina proporcional integral (PI)”. Asimismo, Salas y Alomoto (2013) afirman que “el 95% de los bucles de control en la industria son del tipo PID, y fundamentalmente PI.” (pág. 2).

Un control preciso es crítico para este proyecto. Estudios realizados por Cobb-Vantress (2013) demuestran que la temperatura óptima de incubación de los huevos de gallina es de 37.8°C. Por lo tanto, es de vital importancia que este valor se mantenga constante durante los primeros 18 días de incubación, luego de esto se debe bajar 1°C a la temperatura de la incubadora. Si alguna perturbación llegase a afectar la temperatura, el sistema de control deberá ser capaz de reaccionar a este cambio, efectuando la acción correctiva necesaria para eliminar la perturbación antes producida y que el proceso llegue a ser estable una vez más. Con los avances del control computarizado, existen muchas nuevas posibilidades de como los procesos pueden ser monitoreados y controlados. Estos incluyen el uso de algoritmos complejos no solo capaces de reaccionar a los cambios en el proceso sino también a predecir estos cambios.

En síntesis, nuestro sistema de control deberá satisfacer los siguientes parámetros:

- Estabilidad
- Precisión
- Tiempo de respuesta corto
- Tiempo de computo corto
- Tolerancia al ruido
- Bajo costo
- Aplicación en sistemas no lineales

De los sistemas de control anteriormente definidos, el PID solo presenta 3 parámetros para realizar los ajustes del proceso y en términos de tiempo de respuesta y precisión presenta muy buenos resultados. El control Fuzzy presenta un control basado en reglas, por consiguiente es necesaria una buena elección de estas para que se tenga un buen control. El control Fuzzy es muy sensible a la distribución de sus funciones de membresía pero no de la forma de sus funciones. Godjevac (2012) concluyó que, “uno de los mayores problemas con el controlador Fuzzy es que el tiempo de computo es muy grande comparado con el del PID, debido a las operaciones complejas como la fuzzyficación y particularmente la defuzzyficación”. Igualmente concluyó que, “El controlador PID no puede aplicarse en sistemas que tengan un cambio repentino de parámetros, porque esto requiere del cambio de las constantes PID”. (pág. 21). Una de las ventajas del controlador Fuzzy es que no necesita contar con el modelo matemático del proceso a controlar, además que este puede trabajar con sistemas no lineales, es decir que puede evaluar una mayor cantidad de variables tanto como de entrada como de salida.

Después que se realizó la revisión bibliográfica correspondiente, se puede afirmar que el controlador que satisface la mayoría de los parámetros requeridos por este

proyecto, es el controlador Fuzzy, el cual posee la gran ventaja de gobernar más de una variable de entrada. Para un mejor entendimiento sobre las comparaciones entre los tipos de controladores, se presenta la siguiente tabla comparativa:

Requerimientos del sistema	PID	Fuzzy
Estabilidad	✓	✓
Precisión	✓	✓
Tiempo de respuesta corto	✓	✓
Tiempo de computo corto	✓	x
Tolerancia al ruido	x	✓
Bajo costo	✓	✓
Aplicación en sistemas no lineales	x	✓

## 2.4 Actuadores

### 2.4.1 Sistema de calefacción

Este sistema es el encargado de generar calor, es una de las partes medulares en el sistema de incubación debido a que sin este no se podría obtener la temperatura necesaria para que los embriones salgan del cero fisiológico e inicien su desarrollo metabólico.

Existen dos tipos de sistema de calefacción:

- 1- Sistema de calefacción a base de materiales combustibles: se basa en el proceso químico de oxidación rápida que desprende energía en forma de calor y luz. Para que este proceso se dé, es necesaria la presencia de un combustible, un comburente y el calor. El material que es capaz de arder, se conoce como combustible, en las combustiones ordinarias el combustible es una sustancia compuesta, por ejemplo gas de petróleo, gasolina, kerosene, parafina, etc.
- 2- Sistema calefactor a base de materiales no combustibles: estos utilizan métodos alternos para generar calor. Un ejemplo de estos sistemas, son los señalados por Rivera (2011) donde se instalan resistencias eléctricas en la tubería de ventilación; o bien los sistemas descritos por Bonilla (2009), donde se hace uso de focos incandescentes para mantener el calor de un cuarto.

Silva (2013) sugirió en su trabajo investigativo que, “el sistema de calefacción de una incubadora no debe irradiar luz sobre los huevos, puesto que puede producir trastorno en los pollos recién nacidos debido a que estos no diferencian el día de la noche”. También precisó, que para una incubadora con una capacidad de 30 a 70 huevos, si se trabaja con una resistencia eléctrica, la potencia de la misma estará entre 50 y 150 watts. Dando como resultado consumos energéticos muy elevados y por tanto encareciendo el costo del proceso. En vista que los sistemas de calefacción tradicionales para incubadora, no son los más eficientes en materia energética, ni los más adecuados para el bienestar de los pollitos. Se optó por un sistema de calefacción a base de materiales combustibles.

Para muchas aplicaciones, Devis (2014), escribió que un sistema de calefacción a base de gas, es considerado uno de los sistemas más cómodo, limpio y seguro.

Sistema de calefacción	Ventajas	Desventajas	Consumo (Energético, gas, C\$, máxima potencia)
Sistema de calefacción a base de gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo consumo de energía eléctrica.</li> <li>No contamina el ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Costo de desarrollo depende de la capacidad del sistema.</li> <li>Requiere de más espacio en la estructura.</li> <li>Costo elevado de construcción.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Con Electro válvula proporcional: 2KW, C\$14.08 en 21 días.</li> <li>Con electroválvula diseñada: 0.15KW, C\$1.056 en 21 días.</li> </ul>
Sistema de calefacción a base de Resistencia eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fácil implementación</li> <li>Bajo costo de construcción</li> <li>Diseño compacto no requiere de mucho espacio.</li> <li>No contamina el ambiente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Alto consumo energético</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia eléctrica: 317.52KW, C\$2235.60, en 21 días.</li> </ul>

**Por los altos costos de energía eléctrica que se presume consumiría un sistema calefactor a base resistencias eléctricas, se ha optado por utilizar un sistema calefacción a base de gas.**

## 2.4.2 Sistema de volteo

### 2.4.2.1 Motores

Existen diversas alternativas de motores eléctricos, entre las cuales tenemos:

- Motores de corriente continua: son ideales para aplicaciones donde se requiere variar la velocidad de giro.
- Motores de corriente alterna: son los más usados en las aplicaciones cotidianas e industriales por su bajo coste de fabricación y mantenimiento, su principal desventaja es que trabajan a velocidades altas y fijas.
- Motores paso a paso: son ideales para aplicaciones donde se requiere precisión. Una de sus desventajas es que se necesita un circuito de control para su manejo.

En el presente proyecto se puede hacer uso de cualquiera de los tres tipos de motores antes mencionados. La aplicación del volteo no es sensible a precisión, pero si se requiere que los huevos giren suavemente, esto se soluciona fácilmente mediante mecanismos simples. Jiménez y Veloza (2008) recomiendan el mecanismo de reducción de velocidad de giro denominado “sin fin corona”, que permitirá reducir la velocidad de rotación del motor como incrementar su torque de salida y mantendrá la posición de las bandejas fijas en un punto dado a pesar del peso de las mismas.

Por ser el tornillo del mecanismo sin fin corona de una sola entrada el sistema mecánico es de auto-bloqueo, es decir la potencia cuando entra por el tornillo es transmitida hacia la corona y de ahí al mecanismo de barras, pero cuando el movimiento entra por la rueda, este se bloquea y no permite moverse de esa posición. Esta característica del reductor, auto bloqueante evita la volcadura de las bandejas de huevos, propiciada por el peso de los huevos.

### 2.4.2.2 Sistema de control

Para realizar el movimiento de los huevos Jiménez y Veloza (2008) recomiendan la implementación de dos sistemas de control:

1. Sistema de control de lazo cerrado: On-Off
2. Sistema de control de lazo abierto: temporizado.

**Sistema de control On-Off:** Es utilizado para colocar las bandejas en posición horizontal. Al encontrarse las bandejas en posición horizontal se acciona un interruptor el cual entrega al microcontrolador una señal de 5 voltios, en caso contrario, las bandejas se encuentran en una de las posiciones extremas.



**Sistema de control temporizado:** Es utilizado para colocar las bandejas en una de las posiciones extremas, esto se logra utilizando el reloj de tiempo real DS1307.

**Funcionamiento del sistema:** Al registrarse el cambio de hora, indicado por el reloj DS1307, el microcontrolador revisa el estado en el cual se encuentra el interruptor (bajo o alto), en el caso de encontrarse en activo, es decir en posición horizontal, actuará el sistema de control temporizado, lo que activará el motor durante un tiempo determinado experimentalmente para que el sistema se encuentre 45° respecto a la horizontal. En el caso contrario, lo cual indica que el sistema está en uno de los extremos, se activará el motor hasta que se active el interruptor.

### 2.4.3 Sistema de humidificación

#### 2.4.3.1 Medidor de nivel y humidificador.

El humidificador es un sistema que servirá para mantener la humedad necesaria para que se dé el desarrollo embrionario y la eclosión de los huevos en la incubadora. Existen dos tipos de humidificadores: adiabáticos e isotérmicos. Los primeros, según Rosón (2013) “son dispositivos que crean una gran superficie de interface entre el aire y el agua en estado líquido, donde se forma una fina capa de vapor saturado, con una presión parcial igual a la presión de saturación a la temperatura del líquido”. La principal desventaja de esos sistemas es que durante el proceso de humidificación, a medida que la humedad relativa va en aumento, la temperatura disminuye.

En los humidificadores isotérmicos el vapor saturado suministrado ya se encuentra en estado gaseoso y por lo tanto se mezcla con el aire sin ninguna dificultad. Son frecuentemente utilizados en aplicaciones donde se requiere que, a medida que la humedad relativa aumenta, la temperatura se mantenga constante.

Uno de los requerimientos de la incubadora es que la temperatura se mantenga constante durante todo el proceso de incubación, por tanto el tipo de humidificador que se empleará será el isotérmico, estos humidificadores pueden ser:

- Eléctricos, por medio de resistencias
- Electrodo sumergidos
- Calderas centrales generadoras de vapor
- Gas

En vista a que el sistema calefactor de la incubadora se realizará en base a gas, por las razones ya descritas en las secciones anteriores, el humidificador será a base de gas igualmente.

#### **2.4.4 Sistema de Ventilación**

Este sistema es el encargado de mantener un flujo continuo de aire nuevo, así como retirar el aire viciado exhalado por los huevos. Para el ingreso de aire nuevo todas las incubadoras comerciales analizadas usaban un ventilador cuyo tamaño está relacionado a la cantidad de cfm's que necesita la incubadora.

En este caso la incubadora requiere un flujo constante de 1 cfm. Un ventilador de 10 cm de diámetro bastará para alcanzar este requerimiento. Asimismo, se debe instalar un ventilador de menor tamaño en la parte más baja de la estructura de la incubadora, debido a que el  $CO_2$  es un gas pesado, este ventilador más pequeño servirá como extractor para retirar el aire viciado producido por los huevos. También se harán orificios en la estructura para facilitar el flujo de aire limpio.

### **2.5 Sistema de monitoreo**

#### **2.5.1 Monitoreo computarizado**

El monitoreo eficaz del proceso de incubación es una cuestión vital para la buena gestión de los lotes de huevos fértiles que se están incubando. La mayoría de las incubadoras industriales analizadas traen su propio sistema de monitoreo incluido en el paquete de instalación de los cuartos de incubación. Un ejemplo de esto es el moderno sistema de monitoreo Advisor de la empresa ChickMaster. Las incubadoras comerciales con una capacidad similar a la propuesta en este protocolo monográfico, no cuenta con un sistema de monitoreo.

El sistema de monitoreo computarizado tendrá las siguientes funcionalidades:

- Mostrar el tiempo total en que la maquina esta en operación.
- Mostrar la posición de las bandejas de incubación.
- Visión completa de la planta de forma gráfica para un monitoreo eficaz.
- Registro histórico.
- Calendario de manejo.
- Acceso remoto mediante red LAN.

##### **2.5.1.1 Acceso remoto**

Para el acceso remoto se hará uso del protocolo de redes de datos HTTP, también conocido como servidor web. Para la implementación de la aplicación HTTP primero se debe definir el hardware físico o virtual sobre el cual se montará el sistema operativo de red donde se instalará el servidor HTTP.

Existen dos alternativas para definir la plataforma sobre la cual se instalará el sistema operativo de red. Se puede dejar una maquina dedicada para las funcionalidades de la aplicación web o bien se puede hacer uso de una máquina virtual. Según Ruiz (2013), si para la instalación del sistema operativo de red se hace uso de una maquina dedicada, “entonces se estará desaprovechando los recursos de la máquina, por lo que la mejor forma de aprovechar los recursos de la computadora es mediante la virtualización ya que esta nos permite ejecutar diferentes sistemas operativos y aplicaciones en la misma máquina, aprovechando de esta forma mejor los recursos con los que se cuenta”.

Por las razones antes mencionadas, se optó por trabajar con máquinas virtuales, para ello lo primero que se necesita es un software de virtualización. Según Ruiz (2013) un software de virtualización es “un programa que utiliza una serie de técnicas avanzadas donde se instala y crean máquinas virtuales que producen la ilusión de ser plataformas hardware independientes”.

Existen diversas herramientas de virtualización, pero según Binstock (2015) “son dos las aplicaciones informáticas que dominan el mercado, las cuales son: VirtualBox y VMWARE”. Asimismo, el sostiene que VMWARE ofrece mejores prestaciones informáticas que VirtualBox, es más rápido y tiene mejores gráficos; por estas razones VMWARE será la herramienta de virtualización propuesta para desarrollar el sistema de monitoreo, cabe señalar que VMWARE cuenta con una versión libre la cual cuenta con las funcionalidades básicas que se requerirán para este proyecto.

En cuanto al sistema operativo que se debe instalar en la máquina virtual, solo hay dos opciones: instalar Windows Server de Microsoft o instalar una distribución de Linux. Este presenta varias ventajas frente a Windows, pero la principal es que es software libre. La Universidad Nacional de Ingeniería promueve el uso de software libre, por lo que Linux será el sistema operativo escogido.

La plataforma de desarrollo web será el bien conocido software libre Apache2, alguna de las características que este software posee y serán relevantes para el proyecto monográfico son:

- Provee conexión segura
- Soporte para paginas dinámicas
- Soporta usos de PHP para gestión dinámica de la base de datos.

Para el desarrollo de la interfaz gráfica se hará uso del software Dreamweaver CC, que es un reconocido programa de diseño de páginas web.

## 2.6 Diseño de la incubadora

La estructura mecánica de la incubadora está compuesta por dos partes principales que juegan un papel activo en la consecución de la incubabilidad deseada: El Gabinete y las bandejas/nacedora para los huevos, que a su vez incluye los mecanismos para el volteo.

### 2.6.1 Gabinete

Existen dos tipos de incubadora, clasificadas según la forma en se disponen los huevos al interior de las mismas:

**Verticales:** también se les denomina incubadoras multi-etapas, ya que se pueden albergar varios lotes de huevos que se encuentren en diferentes ciclos de incubación. Este tipo de incubadoras son las que se usan en la industria más desarrollada, su capacidad varía desde 10,000 hasta 300,000 huevos. Su tamaño puede variar desde un gabinete vertical hasta un cuarto completo de una casa promedio (3x3.5x3 m), en el cual se pueden meter una serie de carritos que albergan varias bandejas de huevos dispuestas de forma vertical. La nacedora se encuentra separada del cuarto de incubación y su capacidad es generalmente la mitad de la incubadora.

**Horizontales:** Son incubadoras cuya capacidad varia de 50 a 500 huevos, se usan en granjas más pequeñas y para proyectos experimentales. También son conocidas como incubadoras de una sola etapa ya que el lote de huevos que alberga debe estar en el mismo ciclo de incubación. El nacimiento de los pollitos se produce en la misma máquina.

Debido a que la capacidad de la incubadora (100 huevos) que se propone desarrollar en este proyecto monográfico cae en el rango de aplicación de las incubadoras de tipo horizontal, se ha decidido trabajar con la disposición estructural de esta última.

La forma de la caja, su dimensión y el material del que está hecho el gabinete son puntos clave a considerar ya que influyen directamente en el desempeño del controlador. Un punto muy importante que hay que tener en cuenta es el hermetismo de toda la estructura.

Badillo y Reyes (2011) recomiendan que “el material de construcción del gabinete, así como el material para sellar sus uniones debe ser capaz de evitar la procreación de hongos, resistente a la temperatura y a la humedad”. Para la selección del material que se utilizará nos basaremos en criterios como durabilidad, costo y facilidad para limpiar.

Entre los materiales de bajo costo analizados tenemos: unicel, aglomerado, aluminio y piezas metálicas.

Entre todos los materiales mencionados, el unicel es el de menor costo, evita el desarrollo de hongos, pero no tiene la robustez suficiente para soportar el peso de 100 huevos, además que se puede presentar un incendio ya que el unicel es altamente inflamable. Un riesgo que no se puede correr ya que trabajaremos con un sistema a base de gas. La otra alternativa es el aglomerado, existen diferentes tipos de este entre los cuales tenemos: MDF, aglomerado sin cubrir, melanina, aglomerado chapado, tablex, tablex plastificado, contrachapado y pino macizo.

De entre todos los tipos de aglomerados mencionados, el que más se adecua a las directrices de durabilidad, costo y facilidad de limpiar, es el aglomerado plastificado o melanina, además es resistente contra la humedad y útil para construir estructuras solidas como muebles, asimismo debido a su espesor (20mm) provee una buena aislación térmica. El principal inconveniente que presenta es el alto riesgo de incendio ya se trabajará con una flama durante los 21 días que dura el proceso de incubación.

Para desarrollar la estructura de este proyecto se ha escogido el aluminio y piezas metálicas galvanizadas ya que son resistentes a las condiciones de trabajo de la incubadora, durables, de bajo costo y tienen menores riesgos de seguridad.

El aluminio no posee buenas propiedades como aislante térmico, por lo que las paredes del gabinete serán de tipo sándwich, de lámina metálica al exterior de sus caras y en el interior de un material aislante. Jiménez y Veloza (2008) recomiendan la espuma de poliuretano como material aislante por ser “un excelente aislante térmico, resistente a la propagación del fuego, de larga vida útil y muy liviano”.

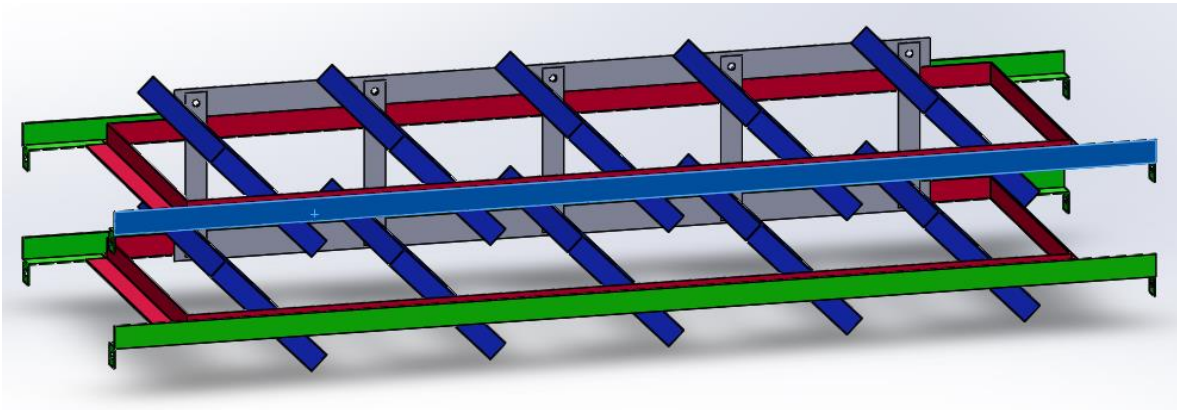
Para proveer un buen aislamiento entre las uniones del gabinete Badillo y Reyes (2011) recomendaron en su informe el uso de silicón de policarbonato siliconado ya que, en sus palabras, “el resto de pegamentos empieza a perder su dureza a partir de los 30°C, sueltan residuos sólidos, se descomponen soltando gases tóxicos y pierden sus propiedades adherentes”.

### **2.6.2 Bandejas**

Las bandejas serán construidas de aluminio al igual que el resto de la estructura. El diseño de las bandejas debe ser tal que facilite la circulación de aire entre las mismas y que en el momento del volteo, los huevos no se estropeen.

Las bandejas en la mayoría de los sistemas de incubación comerciales analizados se disponían en dos formas: en una sola bandeja de gran tamaño acoplada a un solo eje de rotación o en múltiples bandejas de menor tamaño dispuestas en filas que giran en torno a su propio eje. El primer sistema tiene la ventaja que requiere un diseño mecánico más simple, pero el movimiento de la bandeja es de mayor tamaño, lo que requiere un gabinete más grande y de esta forma se incurre en más gastos de materiales. En cambio, el segundo sistema, si bien es cierto que requiere un mejor diseño del mecanismo de volteo, se ahorra mucho más material ya que se necesita menos espacio para realizar los giros de las bandejas, por tanto el sistema de volteo estará comprendido por 10 bandejas con una capacidad de 10 huevos cada una, dispuestas en dos niveles, 5 bandejas por nivel. Las dimensiones de las bandejas serán: 0.75"x9.50"x5".

Para realizar el volteo de los huevos se analizaron distintas alternativas mecánicas para convertir el movimiento giratorio del motor en movimientos de desplazamiento. Al mecanismo que pueden realizar esto se le conoce como cuadrilátero articulado, existen varios tipos de este entre los cuales tenemos: manivela-biela, doble manivela, manivela-balancín, doble balancín y paralelogramo articulado. El sistema seleccionado debido a sus características de movimiento de desplazamiento sobre el eje a partir del movimiento rotatorio del motor, será el de biela-manivela. En la siguiente imagen se muestra la disposición del mecanismo de las bandejas:



## Hipótesis y Variables

---

El proyecto es clasificado como de desarrollo, ya que se diseñará e implementará un sistema electrónico (hardware y software) para el monitoreo y control de las condiciones ambientales que afectan el desarrollo embrionario de los huevos de gallina, así como la estructura que alberga los mismos. La efectividad del sistema será evaluada al incubar un lote real de 100 huevos.

Consideramos que el desempeño del sistema será similar al de las incubadoras comerciales que tengan prestaciones y características similares a este prototipo, pero a menor costo y con funciones de monitoreo, cabe mencionar que dichas funciones no están presentes en incubadoras comerciales con una capacidad similar a la propuesta en este trabajo.

Las principales variables son la temperatura, humedad, velocidad de volteo y nivel de ventilación, las cuales pueden ser manipuladas durante la evaluación, en tiempo real, del sistema.

## Diseño Metodológico

---

El desarrollo del proyecto ha sido dividido en varias etapas que contemplan el diseño, verificación y evaluación del sistema para incubación artificial de huevos de aves de corral. En cada una de las etapas se aplicarán conocimientos adquiridos en los cursos del plan de estudios de la carrera de ingeniería electrónica, así como conocimientos que deberán ser obtenidos mediante la revisión de literatura.

- **Fase de diseño:** En esta etapa se diseñará una solución, a partir de los requerimientos del sistema. El resultado es el diseño de la estructura, esquemáticos, controlador, sistema de monitoreo y diagrama funcional del sistema, el cual sirve como punto de partida para la determinación de la tecnología requerida para la implementación de los subsistemas de la incubadora.
- **Fase de verificación:** El objetivo de esta etapa es realizar la verificación de los sistemas anteriormente diseñados, mediante simulación utilizando los simuladores y programas apropiados para esto.
- **Fase de desarrollo:** En esta etapa se realiza la construcción de la incubadora, desarrollo del controlador y sistema de monitoreo en tiempo real.
- **Fase experimental:** El objetivo de esta etapa es realizar los experimentos necesarios, siguiendo un protocolo, para verificar que el sistema completo cumple con los requerimientos establecidos.
- **Fase de evaluación:** El objetivo de esta etapa es evaluar la efectividad del sistema mediante la incubación de un lote real de huevos de gallina. Se verificará que la ventana de nacimiento y la incubabilidad cumplan con los criterios de Cobb-Vantress.



## Cronograma de ejecución

Actividad	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Fase de Diseño de los subsistemas																												
Fase de Verificación a nivel de simulación																												
Fase de Implementación																												
Fase experimental																												
Fase de evaluación																												
Elaboración del informe																												
Defensa del Trabajo Monográfico																												

## Bibliografía

---

- Alvarez, W. (2015). *Industria avícola crece mas este año*. La Prensa. Obtenido de: <http://www.laprensa.com.ni/2015/04/29/economia/1823122-industria-avicola-crece-mas-este-ano-la-estabilidad-de-precio-y-mejora-de-salario-impulsan-dinamismo>
- Badillo R. O. & Reyes N. A. (2011). *Incubadora de huevo con lógica difusa*. Tesis de Ingeniería, Instituto Politécnico Nacional, México D.F, México.
- Baeza, M. O. (2011). *Desarrollo de una incubadora automatizada de gallus gallus en micro controladores*. Tesis de ingeniería, Universidad Autonoma de Queretaro, Queretaro, Mexico.
- Bárcenas F., Peñuelas U. M., Contreras J. C., & Dorador J. M. (2007). Memorias del XIII Congreso Internacional Anual de la SOMIM: *Diseño de maquina incubadora automática de huevo*. Durango, México.
- Binstock, A. (2015). *Desktop virtualization review: VMware Workstation vs. Oracle VirtualBox*, obtenido de: <http://www.infoworld.com/article/2888046/virtualization/desktop-virtualization-review-vmware-workstation-vs-oracle-virtualbox.html>
- Bonilla, F. D. (2009). *Diseño y construcción de un sistema de control de temperatura para una incubadora de huevos de aves de corral*. Tesis de ingeniería, Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica.
- Boylestad, R. L. (2009). *Electronica: Teoria de circuitos y dispositivos elctronicos* (Decima ed.). Mexico: Pearson.
- British United Turkeys. Modeling Incubation Temperature: The Effects of Incubator Design. Hockenhull Hall, Tarvin, Chester, Poultry Science, 1997. Impreso.
- Cobb-Vantress. (2013). *Guía de manejo de la incubadora*. Obtenido de [cobb-vantress.com](http://cobb-vantress.com)
- Devis, R. (2014). *Tipos de calefaccion: gas, electrica, radiante y bomba de calor*. Obtenido de <http://www.rankia.com/blog/luz-y-gas/2552235-tipos-calefaccion-gas-electrica-radiante-bomba-calor>
- Espinoza L. F. & Matey M. S. (2010). *Evaluacion de los factores que intervienen en la ventana de nacimiento de los pollitos en la incubadora PIPASA-Nicaragua, en el periodo de Enero a Julio 2009*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria, Managua, Nicaragua.

- Garnica J. & Martínez V. A. (2011). *Diseño y control de Temperatura-Humedad en una incubadora de huevos*. Tesis de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F, México.
- Godjevac, J. (2012). *Comparison between PID and fuzzy control*. Suiza: Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Ibrahim, D. (2002). *Microcontroller based temperature monitoring and control*. Elsevier Science & Technology Books. Great Britain: Newnes.
- Jimenez J. A. & Veloza J. F. (2008). *Modelo funcional de una incubadora de huevos para la industria avícola*. Tesis de ingeniería, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Lopez, S. (2006). *Evaluación de maquinas incubadoras para huevos de gallina domestica (gallus domesticus) elaboradas a un costo minimo*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico D.F, Mexico.
- Maloney, T. (2006). *Electronica Industrial Moderna*. Monroe, Michigan: Pearson Education.
- Ogata, K. (2010). *Ingenieria de control moderna*. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Rivera, J. C. (2011). *Diseño y control de temperatura y humedad en una incubadora de huevos*. Mexico D.F.: Universidad Nacional Autonoma de Mexico.
- Rosón, M. V. (2014). Humidificación adiabática vs Humidificación isotérmica. Obtenido de <http://www.mundohvacr.com.mx/mundo/2013/06/humidificacion-adiabatica-vs-humidificacion-isotermica/>
- Ruiz, P. (2013). *Ventajas de maquinas virtuales para la instalacion de sistemas operativos en red*. Obtenido de <http://somebooks.es/?p=3366>
- Salas E. & Alomoto C. (2013). *Diseño e implementacion de controladores PID, FUZZY y PID-FUZZY para una planta de luz*. Tesis de ingeniería, Escuela Politecnica del Ejercito.
- Silva. (2013). XXI Concurso universitario Feria de las ciencias, la tecnologia y la innovacion. *Diseño y construccion de una incubadora de huevo economica*. Mexico DF, Mexico.
- Vaisala (2012). *Como elegir el instrumento correcto para medir humedad y punto de rocío*. Obtenido de

<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Application%20notes/CEN-TIA-G-Param-How-to-Choose-Application-note-B211203ES-A.pdf>