



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

**INFORME 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: Msc. Alejandro Alberto Méndez Talavera  
Prof. Titular FEC  
UNI

Febrero 15, 2017

## DEDICATORIA

Gracias damos a **Dios** Todopoderoso, creador del universo y dador de la vida, que en su buena voluntad nos ha dado fuerzas, salud e inteligencia para culminar nuestros estudios.

Dedicamos esta obra a todos aquellos que nos han ayudado a alcanzar nuestra meta. A nuestros **Padres**, quienes con su amor y sudor nos han dado la oportunidad de estudiar y realizarnos como ingenieros.

A nuestros **Maestros**, quienes con sus conocimientos, consejos y experiencia nos han formado como íntegros ingenieros.

A nuestros **Compañeros** de clases, con quienes compartimos grandes experiencias como estudiantes.

A nuestra amada nación **Nicaragua**, de cuyo progreso y desarrollo esperamos ser parte a través de nuestro esfuerzo, trabajo y dedicación.

Saúl Fonseca Silva  
Cesar Herrero Toruño  
Alexander Román Villalta

## RESUMEN

La incubación artificial de huevos de aves de corral, una práctica muy extendida en la actualidad, ha contribuido mucho al incremento de la productividad en el sector avícola mundial. Sin embargo, en Nicaragua la incubación artificial no es una práctica común, sobre todo para los pequeños y medianos productores avícolas, principalmente por los elevados costos de estas máquinas especializadas y la escasez de granjas de reproducción.

Es por esta razón que se asumió el reto de investigar acerca de estos sistemas y así, desarrollar, siguiendo los métodos y técnicas apropiadas, un prototipo de incubadora de huevos de gallina que cuente con las funcionalidades básicas de una incubadora comercial, emulando sus resultados de incubabilidad y a un precio accesible.

El resultado del presente trabajo monográfico es un sistema de incubación artificial de huevos de gallina, tipo horizontal, con capacidad de 100 huevos y que cuenta con monitoreo remoto. Para implementar las funciones de control, se utilizan microcontroladores con capacidad de comunicación vía USB.

En este informe se presentan los resultados del trabajo realizado para el diseño e implementación del prototipo, los mismos son presentados de forma tal que puedan ser fácilmente utilizados por aquellos interesados en este campo.

Esto contribuirá significativamente a los pequeños y medianos productores avícolas nacionales, una vez abiertas las primeras granjas de reproducción en el país, cuyos proyectos de aperturas ya han sido presentadas al gobierno por parte de los pequeños y medianos productores del sector.

## ABSTRACT

Nowadays, the artificial incubation of poultry eggs is a widespread practice, has contributed a lot to increase the productivity in the worldwide poultry industry. However, in Nicaragua the artificial incubation isn't a common practice, mostly for small and medium sized poultry producers, mainly because of the high costs of specialized machines and the lack of reproduction farms.

For this reason, we challenged ourselves to investigate about these systems and on that way, develop, following the methods and appropriate techniques, an incubator of chicken eggs prototype that have the basic functionalities of a commercial incubator, emulating its hatching results and at an affordable price.

The result of our work is a horizontal type incubator of poultry eggs machine, with a capacity of 100 eggs and remote monitoring system. To implement the control functions, we used micro controllers capable of handle USB communication.

In this document we present the results of the accomplished work in order to design and implement the prototype, they're presented on a way that can be easily used by those interested in this field.

This will contribute significantly to the small and medium-sized national poultry producers, once the first reproduction farms have been opened in the country, whose opening projects have already been presented to the government by the small and medium producers of the sector.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS .....	3
JUSTIFICACIÓN .....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO .....	6
1 SISTEMAS DE INCUBACIÓN ARTIFICIAL .....	6
1.1 Introducción .....	6
1.2 Factores que afectan la incubación artificial .....	7
1.2.1 Características físicas del huevo incubable .....	7
1.2.2 Temperatura.....	8
1.2.3 Humedad.....	9
1.2.4 Ventilación.....	10
1.2.5 Volteo.....	11
1.3 Tipos de incubadora .....	12
1.4 Sistema de medición .....	13
1.5 Sistema de control .....	14
1.5.1 Introducción a la lógica difusa .....	14
1.5.2 Controlador difuso .....	15
1.5.3 Conceptos básicos.....	16
1.6 Actuadores.....	19
1.6.1 Sistema de calefacción.....	19
1.6.2 Humidificación .....	20
1.6.3 Sistema de volteo.....	21
1.6.4 Sistema de Ventilación.....	22
1.7 Fuente de alimentación .....	23
1.7.1 Determinación del tipo de fuente de alimentación más conveniente..	24
1.8 Sistema de monitoreo.....	25
1.8.1 Monitoreo computarizado.....	26
CAPÍTULO II: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INCUBADORA .....	28

2	MODELO DE INCUBADORA DE HUEVOS.....	28
2.1	Determinación de componentes electrónicos .....	29
2.1.1	Determinación de sensores.....	29
2.1.2	Determinación de Drivers .....	35
2.1.3	Entradas.....	38
2.1.4	Microcontrolador .....	39
2.1.5	Circuitos Electronicos.....	45
2.1.6	Simulación del sistema.....	51
2.2	Fuente de alimentación .....	59
2.2.1	Simulación de la fuente de alimentación .....	61
2.3	Implementación en circuitos impresos.....	62
2.4	Lógica Difusa .....	69
2.4.1	Conceptos básicos .....	69
2.4.2	Controlador Difuso. ....	71
2.5	Monitoreo Remoto .....	79
2.5.1	Sistema Operativo Host .....	79
2.5.2	Servidor WEB.....	79
2.5.3	Servidor DNS .....	84
2.5.4	PHP y MySQL .....	90
2.5.5	Página WEB.....	92
2.6	Estructura física del prototipo de incubadora desarrollado .....	97
2.6.1	Diseño de bandejas.....	97
2.6.2	Diseño del cajón estructural.....	103
2.7	Costos.....	123
2.8	Resultados obtenidos .....	125
3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	129
4	BIBLIOGRAFÍA .....	132
	ANEXOS.....	136
A-	Manual de uso y mantenimiento de la incubadora.....	137
B-	Construcción de prototipo de incubadora .....	141
C-	Desarrollo embrionario y proceso de ovoscopia.....	145

## Lista de Figuras

### Capítulo I

1. 1 Diagrama de bloques del sistema de incubación artificial .....	6
1. 2 Huevo óptimo. Tomado de Cobb-Vantres (2013) .....	8
1.3: Incubadora industrial de tipo vertical .....	12
1.4: Incubadora hova-bator de tipo horizontal .....	13
1.5: Elementos de un sistema de medición. Tomado de Bentley (2005) .....	14
1.6: Esquema controlador difuso .....	16
1.7: Función de pertenencia para un conjunto difuso triangular .....	18
1.8: Función de pertenencia para un conjunto difuso trapezoidal .....	18

### Capítulo II

2.1: Sistema de incubación artificial implementado .....	28
2. 2: Aplicación típica de TCA-785. ....	37
2.3: Driver de motores. (Captura de pantalla) .....	38
2.4: Configuración de botones. (Captura de pantalla).....	39
2.5: Flujograma de control del sistema de incubación artificial.....	42
2.7: Opamp sumador no inversor .....	45
2. 8: Circuito de acondicionamiento. (Captura de pantalla).....	46
2. 9: Filtro pasivo pasa-bajos y seguidor de voltaje. (Captura de pantalla) .....	48
2.10: Interfaz de potencia con TCA785. (Captura de pantalla).....	49
2.11: Comunicación usb. Tomado de: <a href="http://ww1.microchip.com">http://ww1.microchip.com</a> .....	50
2.12: Python 2.7 id .....	50
2.13: Simulación de circuito acondicionador. (Captura de pantalla) .....	52
2.14: Simulación de driver de motores. (Captura de pantalla).....	54
2.15: Circuito a simular TCA785. (Captura de pantalla). ....	55
2.16: Resultados simulación de TCA-785 y potencia. (Captura de pantalla). ....	56
2.17: Simulación comunicación usb. (Captura de pantalla) .....	57
2.18: Simulación general del sistema de incubación. (Captura de pantalla) .....	58
2.19: Funcionamiento de una fuente lineal. Tomado de Boylestad (2009).....	59
2.20: Simulación de fuente de alimentación. (Captura de pantalla).....	61
2. 21: Distribución de circuitos según norma IPC-2221A .....	62
2.22: Geometría física para ejemplificar el retorno de señal según su frecuencia. Tomado de Archambeault (2008) .....	64
2. 23: Distribución de GND según IPC-2221A. ....	65
2.24: Pistas analógicas. (Captura de pantalla).....	66
2.25: Pistas digitales. (Captura de pantalla) .....	67
2.26: Pistas, fuente de alimentación. (Captura de pantalla).....	68
2.27: Funciones de transferencia triangular y trapezoidal usadas .....	71
2.28: Rango de discurso difuso.....	72
2.29: Fusificación del error .....	73
2.30: Fusificación derivada del error .....	73

2.31: Proceso de inferencia .....	76
2.32: Defusificación.....	78
2.33: Versión de Ubuntu instalada, Ubuntu 16.04 LTS.....	79
2.34: Comportamiento de solicitud-respuesta de HTTP.....	80
2.35: Versión de Apache instalada.....	81
2.36: Página por defecto de Apache en Ubuntu .....	81
2.37: Archivo principal de configuración, apache2. Conf.....	82
2.38: Configuraciones básicas para habilitar el sitio web.....	83
2.39: Instalación de Bind9.....	85
2.40: Archivo de configuración “interfaces” .....	86
2.41: Contenido del directorio de configuración de Bind. (Captura de pantalla).....	87
2.42: Contenido de named.conf.....	87
2.43: Archivos de configuración named.conf.options y named.conf.local.....	88
2.44: Archivos de configuración db.10 y db.isc. ....	89
2.45: Servidor DNS funcionando correctamente. (Captura de pantalla) .....	89
2.46: Código PHP para extracción de datos de MySQL.....	90
2.47: Base de datos principal del sistema incubación artificial en MySQL.....	91
2. 48 Ejemplo de estructura en HTML (modelo de cajas). Tomado de Gauchat (2012) .	93
2.49: Ejemplo de diseño basado en rejillas de Bootstrap. Tomado de Pavón (2013) .....	94
2.50: Sitio web funcionando.....	96
2.51: Diseño en Solidworks de cada bandeja. (Captura de pantalla) .....	97
2.52: Armazón de bandejas. (Captura de pantalla) .....	98
2.53: Implementación de Yugo Escoces. (Captura de pantalla).....	99
2.54: Motor DC responsable del giro de las bandejas .....	102
2.55: Esqueleto estructural de la incubadora .....	103
2.56: Diseño de nacedora. (Captura de pantalla) .....	104
2.57: Diseño final del prototipo de incubadora. (Captura de pantalla).....	105
2.58: Temperatura de un huevo de pavo incubado a 37.5 °C; temperatura del embrión (◇), temperatura de la cascara del huevo (★) y temperatura de la incubadora (◆). Tomado de French (1997) .....	106
2.59: Efecto de la velocidad del aire sobre la diferencia entre la temperatura interna del huevo y la temperatura de la incubadora. Modelo usado por French #1 (■); modelo usado por French #2 (□). Tomado de French (1997). .....	109
2.60: Ventilador INTEL D34223 .....	110
2.61: Relación entre la pérdida de peso del huevo y el éxito en la incubación. Tomado de Davis (1987) .....	112
2.62: Disposición entre la pared interna de la incubadora y la pared externa. (Captura de pantalla) .....	118
2.63: Resistencia térmica utilizada ya instalada en su plato de arcilla.....	122
2.64: Resultados de controlador difuso .....	126
2.65: Medición de humedad .....	126
2.66: Temperatura vs Humedad .....	126
2.67: Prueba física, medición de sensores .....	127
2.68: Fuente de alimentación DC .....	127

2.69: Interfaz digital y analógica .....	128
2.70: Incubadora de huevos finalizada .....	128

## **Anexos**

### **Anexo A**

A. 1: Panel de control e interfaz de usuario .....	138
A. 2: Pernos que unen el armazón de bandejas a la estructura principal. ....	139
A. 3: Tornillos que unen el motor al armazón de bandejas. ....	140
A. 4: Tornillos que sostienen el ventilador .....	140
A. 5: Pernos de resistencia térmica. ....	140

### **Anexo B**

B. 1: Prueba en tabla de nodos de las funciones básicas de la incubadora. ....	141
B. 2: Elaboración de circuitos impresos .....	141
B. 3: Circuitos impresos pintados para evitar corrosión de las pistas de cobre. ....	142
B. 4: Circuitos de la incubadora finalizados. ....	142
B. 5: Mitad del armazón de bandejas.....	142
B. 6: Armazón de bandejas recién terminado. ....	143
B. 7: Esqueleto estructural de la incubadora e incubadora con sus paredes. ....	143
B. 8: Trabajando en la parte trasera de la incubadora. ....	143
B. 9: Parte delantera de la incubadora.....	144
B. 10: Incubadora finalizada. ....	144

### **Anexo C**

C. 1: Ovoscopia de huevos a lo largo del proceso de incubación. Tomado de: <a href="https://www.tri-tro.com">https://www.tri-tro.com</a> .....	147
c. 2: Ovoscopia de huevo fértil y de huevo infértil.....	147

## **Lista de Tablas**

### **Capítulo I**

Tabla 1.1: Comparación entre fuentes de alimentación. Tomado de Brown (2001) .....	25
--	----

### **Capítulo II**

Tabla 2.1: Comparación de medidores de temperatura .....	31
Tabla 2.2: Comparación de características de sensores de temperatura.....	32
Tabla 2.3: Comparación de medidores de humedad .....	34
Tabla 2. 4: Funciones de la incubadora y las configuraciones de botones para activarlas .....	39
Tabla 2.5: Características PIC18F4550 .....	40
Tabla 2.6: Asignación de pines PIC18F4550 .....	43

Tabla 2.7: Funcionamiento de driver L293D. Tomado de: <a href="http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf">http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf</a> .....	53
Tabla 2.8: Variables lingüísticas y conjuntos difusos .....	70
Tabla 2.9: Reglas difusas .....	74
Tabla 2.10: Variación de temperatura de los huevos con respecto a la temperatura de operación en diferentes tipos de incubadoras, de diferentes lugares de norte américa y europa. Tomado de French (1997).....	107
Tabla 2.11: Agua requerida por el recinto de incubación .....	115
Tabla 2.12: Potencia requerida por el sistema.....	121
Tabla 2.13: Costos de elaboración del prototipo de incubadora.....	123
Tabla 2.14: Consumo energético del sistema .....	125



## Introducción

---

Uno de los sectores más productivos del país es el avícola y el mismo está dividido en dos tipos de productores: Grandes productores (ANAPA) y Pequeños y medianos productores (APEMEPAN). En base a conversaciones sostenidas con representantes de APEMEPAN, identificamos la existencia de una diferencia 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 sistemas modernos 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.

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, ya que producir un pollito nacionalmente es más económico que importarlo; así que en los próximos años las granjas reproductoras serán una realidad en Nicaragua

Como solución al problema descrito anteriormente, se ha desarrollado un sistema de incubación a pequeña escala y de bajo costo capaz de satisfacer 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.

En este documento se presenta el desarrollo de un prototipo de incubadora con una capacidad de 100 huevos con bandeja de nacimiento incluida. La estructura del prototipo es de materiales metálicos, el controlador de la incubadora está basado en lógica difusa y es el responsable de realizar las acciones de corrección en la principal variable de interés, como es la temperatura. El controlador y el resto de subsistemas de la incubadora (volteo, ventilación y medición) fueron implementados con microcontroladores y sensores de alta precisión para lograr niveles óptimos de incubabilidad. El prototipo también cuenta con un sistema de monitoreo con interfaz web mediante acceso LAN, lo cual permite al usuario visualizar la planta de incubación de forma gráfica y llevar un registro histórico de los lotes. Cabe señalar que este informe está elaborado con un enfoque académico de forma tal que el mismo sea de utilidad para estudiantes de la UNI, técnicos y/o profesionales interesados en el tema.

Asimismo, en este informe se presentan las diferentes tecnologías utilizadas para la implementación del sistema y se brinda información básica sobre los programas de diseño que fueron utilizados, entre los cuales destacan ISIS PROTEUS, SOLIDWORKS, entre otros.

La documentación de esta monografía es amplia, es por tal razón que se ha anexionado al documento un CD con información muy importante como el código C del programa del microcontrolador, código HTML del sitio web, diseño CAD de la estructura y los esquemáticos de la circuitería.

# Objetivos

---

## **Objetivo general**

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

## **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.

## Justificación

---

El sistema de incubación artificial desarrollado brinda 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%).

El sistema de incubación fue desarrollado 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 facilita el mantenimiento preventivo, evitando así que el sistema sufra daños severos y que pase mucho tiempo fuera de operación, aminorando de esta forma su impacto en el ciclo productivo de las avícolas.

A continuación, se mencionan las contribuciones más significativas de este proyecto:

- ✓ 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 a la sociedad nicaragüense que la Universidad Nacional de Ingeniería forma profesionales competentes y comprometidos con la solución de problemas que afectan a la sociedad nicaragüense.

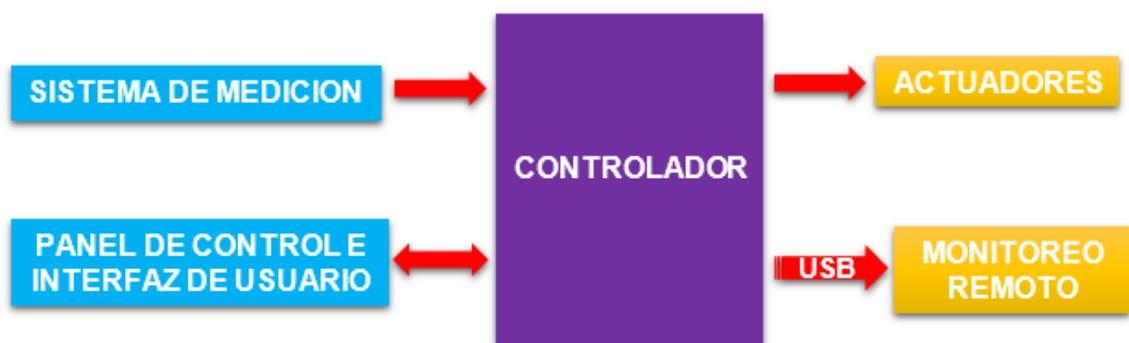
Con este proyecto se ha desarrollado un sistema que, de manera integral, utiliza las técnicas de incubación artificial más adecuadas, los esquemas de control óptimos para este tipo de aplicación y las tecnologías de comunicación más convenientes, los cuales serán descritos en los siguientes capítulos.

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.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

---

Producto del presente proyecto monográfico, se logró desarrollar un sistema de incubación artificial con capacidad de 100 huevos. El diagrama de bloques del sistema se muestra en la figura 1.1, como se puede apreciar consta de los siguientes subsistemas: sistema de medición, panel de control e interfaz de usuario, controlador, actuadores y monitoreo remoto. En este capítulo se describen los aspectos teóricos relacionados a cada uno de estos subsistemas. Pero antes, se hará una introducción sobre lo que es la incubación artificial y los factores que la influncian.



1. 1 Diagrama de bloques del sistema de incubación artificial

## 1 Sistemas de incubación artificial

### 1.1 Introducción

Se denomina incubadora a dispositivos de diferente tipo que tienen la función común de crear un ambiente con la humedad y temperatura adecuadas para el crecimiento o reproducción de seres vivos.

Los principales tipos de incubadora son los que se utilizan en neonatología, las de uso en microbiología y las destinadas a la reproducción de especies ovíparas, incluyendo la producción comercial de huevos.

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.

## **1.2 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 desarrollo del sistema se consideraron los factores que puede influenciar la respuesta de la planta de incubación, los cuales son: temperatura, humedad, volteo y ventilación.

### **1.2.1 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), lista las siguientes recomendaciones en cuanto a la selección del huevo incubable y su manejo:

- ✓ No usar huevos de piso, sólo 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.



*1. 2 Huevo óptimo. Tomado de Cobb-Vantres (2013)*

### **1.2.2 Temperatura**

El factor más importante que afecta la incubabilidad es la temperatura, variaciones 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.

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. Esta es una de las funciones que garantiza el sistema de control desarrollado para el sistema de incubación artificial descrito en este documento.

French (1997) 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 cáscara del huevo y del aire que lo rodea. En el sistema desarrollado se consideró solamente la influencia 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).

### **1.2.3 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. Esto se pudo verificar en el primer experimento realizado en el período del 20/10/016-12/11/016.
- ✓ 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.

#### 1.2.4 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. French (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 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.

### 1.2.5 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.

Cobb-Vantress (2013) argumenta las siguientes razones para mantener un volteo constante de los huevos a lo largo del proceso de incubación:

- ✓ Evita que el embrión se pegue a las membranas de la cáscara, causándole la muerte. Principalmente en la primera semana de incubación.
- ✓ Ayuda al desarrollo de las membranas, tejidos y vasos sanguíneos del embrión.
- ✓ Facilita el flujo de aire alrededor de los huevos y por tanto al enfriamiento de los mismos, esto es importante durante la tercera semana de incubación, momento durante el cual la producción de calor metabólico del embrión aumenta considerablemente y puede llegar a superar la temperatura del recinto de incubación.

Espinoza y Matey (2009) coinciden con las afirmaciones anteriores al exponer en su estudio que: “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 y ubicarlos 45° a la izquierda durante una hora. Este patrón se debe repetir durante los primeros 18 días del proceso, luego se vuelve innecesario.

### 1.3 Tipos de incubadora

Existen dos tipos de incubadora, clasificadas según la forma en que 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.



*1.3: Incubadora industrial de tipo vertical*

**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.

La disposición estructural del prototipo de incubadora presentado en este informe corresponde al de las incubadoras de tipo horizontal, ya que su capacidad (100 huevos) y finalidad (producción en pequeñas avícolas) recae en el rango de aplicación de las mismas.



*1.4: Incubadora Hova-Bator de tipo horizontal*

#### **1.4 Sistema de medición**

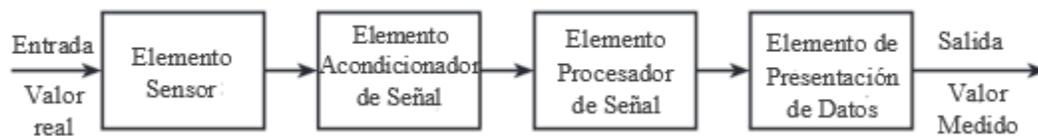
Un sistema de medición existe para proveer información acerca del valor físico de una variable de interés. En casos simples, el sistema puede consistir de un único elemento, pero generalmente consiste de varios elementos separados tal como se muestra en la figura 1.5. Estos bloques pueden estar físicamente contenidos en un solo componente electrónico o pueden estar separados.

El primer elemento en cualquier sistema es el sensor primario, el cual genera una salida en función del fenómeno físico bajo estudio. Muchos sensores tienen salidas lineales, los sensores (LM35DZ y HIH4000) usados en la implementación del sistema de medición tienen un voltaje lineal en todo su rango de medición.

El elemento acondicionador de la señal sirve para mejorar en cierta forma la ganancia del elemento sensor, un tipo común de elemento acondicionador de señal, y que fue usado en el desarrollo de este proyecto, es el amplificador, el cual amplifica la ganancia del transductor primario (LM35DZ) y así mejora la sensibilidad y la resolución de la medición. Este elemento es particularmente importante en un sistema de medición cuando el transductor primario tiene una baja ganancia, tal como es el caso del LM35DZ cuya ganancia es de  $10\text{mV}/^\circ\text{C}$ .

El elemento procesador de señal es donde la señal medida es utilizada. La función de procesamiento de señal en el sistema de incubación artificial es realizada por el microcontrolador PIC18F4550, este recibe la señal en uno de sus puertos analógicos y la convierte a un formato entendible por el usuario.

El elemento de presentación de datos, presenta el valor medido en un formato que puede ser reconocido fácilmente por el usuario. En el sistema de incubación artificial los datos se presentan en un LCD 16x2 y en una página web.



1.5: Elementos de un sistema de medición. Tomado de Bentley (2005)

## 1.5 Sistema de control

### 1.5.1 Introducción a la lógica difusa

La lógica difusa ha sido descrita y examinada por más de 30 años, según Cox (1994), pero hace poco se ha vuelto popular. Casi toda la atención del uso de la lógica difusa ha sido en el área de control de procesos y de ingeniería de control. Esto es comprensible desde que la lógica difusa proporciona una valiosa tecnología en el diseño de máquinas basados en sistemas embebidos. Con lógica difusa, los fabricantes pueden reducir significativamente el tiempo de desarrollo, modelar sistemas no-lineales muy complejos, desplegar sistemas avanzados usando ingenieros de control en vez de científicos de control e implementar estos sistemas usando circuitos integrados y sensores más económicos.

Para entender como los sistemas difusos proporcionan modelado de información superior, se debe retroceder hasta sus orígenes. Según lo concebido por Lotfi Zadeh, inventor de la lógica difusa, originalmente un ingeniero y científico de sistemas, él estaba preocupado con la rápida disminución de la información proporcionada por los modelos matemáticos tradicionales como el aumento de la complejidad en los sistemas. Él se dio cuenta que mucho de la complejidad en estos sistemas venía de la forma en la cual las variables del sistema eran

representadas y manipuladas. Debido a que estas variables podían únicamente representar el estado de un fenómeno como existente o no existente, los cálculos necesarios para evaluar operaciones en varios estados “límites” se vuelven cada vez más complejos. En algún punto, esta complejidad abruma el contenido de la información del modelo en sí mismo, quedando solamente un pantano de ecuaciones y poco conocimiento del proceso en sí.

Como indica el científico Zadeh (1973) “A medida que la complejidad de un sistema aumenta, nuestra habilidad para hacer afirmaciones precisas y significantes acerca de sus comportamientos disminuye hasta que se alcanza un límite después del cual la precisión y la relevancia se convierten casi en características mutuamente excluyentes” (p. 28).

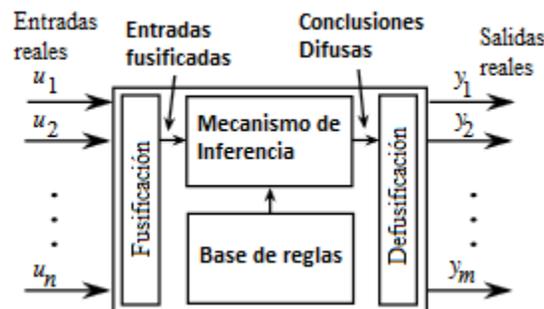
Con el fin de modelar sistemas complejos, los mecanismos subyacentes son representados lingüísticamente en vez de matemáticamente. Esto obedece a que los humanos no razonan en términos de símbolos discretos y números sino en términos de conjuntos difusos. Estos términos difusos definen categorías generales, pero no rígidas, más bien colecciones fijas. La transición de una categoría, concepto, idea o estado al siguiente se hace de forma gradual con algunos estados teniendo mayor o menor pertenencia de una de otra. De esta idea de conjuntos elásticos, Zadeh propuso el concepto de conjuntos difusos.

### 1.5.2 Controlador difuso

Un sistema difuso es un mapeo no lineal estático entre sus entradas y salidas (es decir, no es un sistema dinámico). Se asume que los sistemas difusos tienen entradas  $u_i \in U_i$  donde  $i = 1, 2, \dots, n$  y salidas  $y_i \in Y_i$  donde  $i = 1, 2, \dots, m$  como se muestra en la figura 1.6. Las entradas y las salidas son reales, es decir no son conjuntos difusos.

Un diagrama de bloques de un sistema de control fuzzy se muestra en la figura 1.6. El controlador fuzzy está compuesto de los siguientes elementos:

- **Base de Reglas:** Un conjunto de reglas de tipo si/entonces, el cual contiene una cuantificación lógica de la descripción lingüística del experto sobre cómo alcanzar un buen control.
- **Mecanismo de Inferencia:** También llamado motor de inferencia, este emula la decisión del experto sobre cuál sería la mejor forma de controlar la planta.
- **Interfaz de Fusificación:** Convierte las entradas reales del controlador en información que el mecanismo de inferencia pueda usar fácilmente para activar y aplicar las reglas.
- **Interfaz de Defusificación:** Convierte las conclusiones del mecanismo de inferencia en salidas reales, las cuales serán las entradas del proceso a controlar.



1.6: Esquema controlador difuso

### 1.5.3 Conceptos básicos

#### Universo de discurso

Los conjuntos ordinarios (reales)  $U_i$  y  $Y_i$  son llamados los “Universos de discurso” para  $u_i$  y  $y_i$  respectivamente (en otras palabras, son sus dominios). En aplicaciones prácticas, muy a menudo los universos de discurso son simplemente el conjunto de números reales o algún intervalo o subconjunto de números reales.

#### Variables lingüísticas

Para especificar reglas para la base de reglas, el experto usará una “descripción lingüística”; por consiguiente, se necesita de expresiones lingüísticas para las entradas, salidas y las características de las mismas. Se usarán “variables lingüísticas” (descripciones simbólicas constantes de lo que son en general

cantidades variantes en el tiempo) para describir las entradas y salidas de sistemas difusos. Es decir, las variables lingüísticas denotadas por  $\tilde{u}_i$  se usan para describir las entradas  $u_i$ . Similarmente, las variables lingüísticas denotadas por  $\tilde{y}_i$  se usan para describir las salidas  $y_i$ .

### **Valores lingüísticos**

Al igual que  $u_i$  y  $y_i$  toman valores de cada universo de discurso  $U_i$  y  $Y_i$ , respectivamente, las variables lingüísticas  $\tilde{u}_i$  y  $\tilde{y}_i$  toman “valores lingüísticos” que se usan para describir características de las variables

### **Reglas lingüísticas**

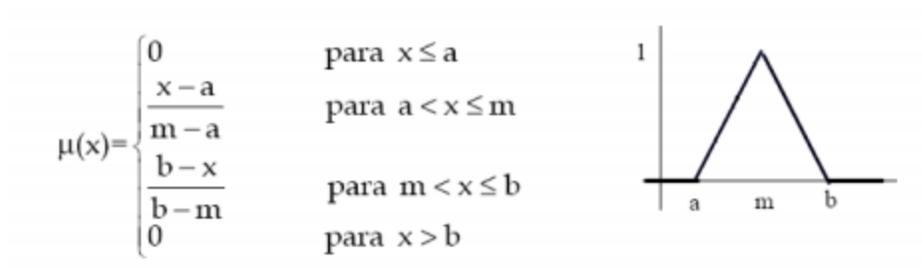
El mapeo de las entradas a las salidas para un sistema difuso es en parte caracterizado por un conjunto de condiciones o reglas de acción de la forma SI-ENTONCES, usualmente las entradas de los sistemas difusos son asociadas con sus premisas, y las salidas son asociadas con sus consecuentes, estas reglas de SI-ENTONCES se pueden representar de muchas formas, las más comunes son las formas múltiples entradas múltiples salidas (MIMO) y múltiples entradas una salida (MISO)

### **Conjuntos difusos**

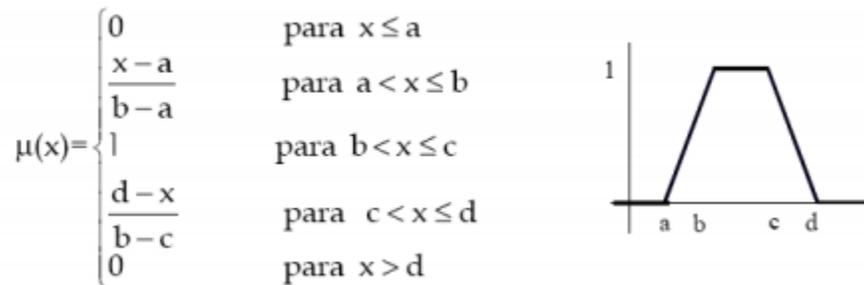
Un conjunto difuso se encuentra asociado por un valor lingüístico que está definido por una palabra, etiqueta o adjetivo. En los conjuntos difusos la función de pertenencia puede tomar valores entre el intervalo de 0 y 1, y la transición del valor cero y uno es gradual, no cambia de manera instantánea como pasa con los conjuntos clásicos. La necesidad de trabajar con conjuntos difusos surge del hecho que existen conceptos que no tienen límites claros.

### **Funciones de pertenencia**

Aun cuando cualquier función puede ser válida para definir un conjunto difuso, existen ciertas funciones que son más comúnmente utilizadas por su simplicidad matemática, entre estas se encuentran las funciones de tipo triangular, mostrado en la figura 1.7 y trapezoidal mostrado en la figura 1.8.



1.7: Función de pertenencia para un conjunto difuso triangular



1.8: Función de Pertenencia para un conjunto difuso trapezoidal

### **Fusificación**

La Fusificación tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos. En la Fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

### **Base de reglas**

La base de reglas contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación u los objetivos de control. En esta etapa se deben definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que decidieran la forma en la que debe actuar el sistema.

### **Inferencia**

La inferencia relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. En la inferencia se utiliza información de la base de conocimientos para generar reglas mediante el uso de condiciones.

## **Defusificación**

La Defusificación realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en los valores reales, que posteriormente se utilizaran en el proceso de control. En la Defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método de centroide, método del producto, método del máximo, etc.

### **1.6 Actuadores**

Para que un sistema electrónico pueda controlar un proceso, es necesario que pueda actuar sobre el mismo. Los dispositivos que realizan esta función, se les conoce comúnmente como actuadores.

Los actuadores se clasifican según el tipo de energía empleada en su accionamiento:

- ✓ Actuadores hidráulicos: funcionan sobre la base de fluidos a presión.
- ✓ Actuadores neumáticos: convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico.
- ✓ Actuadores eléctricos: funcionan en base a energía eléctrica.

El sistema de incubación artificial descrito usa actuadores eléctricos, estos son: resistencia térmica, motor DC de alto torque y ventilador.

#### **1.6.1 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.

El sistema calefactor de la incubadora es en base a una resistencia eléctrica de 350W, en la sección 2.6.2.3 se profundiza más sobre la selección de este elemento.

### 1.6.2 Humidificación

La humidificación es una operación que consiste en aumentar la cantidad de vapor presente en una corriente gaseosa. El humidificador no es más que un elemento que sirve para aumentar la humedad relativa en el ambiente, existen dos tipos de humidificadores:

- **Humidificadores activos:** son aquellos constituidos por un elemento calentador o vaporizador, un reservorio de agua, una unidad de control y una interface de gas y líquido que aumenta la superficie de evaporación.
- **Humidificadores pasivos:** es el termino genérico que se usa para describir un grupo de elementos que operan sin electricidad, sin fuente de agua suplementaria y que no cuentan con una unidad de control.

En los sistemas de incubación de gran escala que son usados en la industria avícola más desarrollada, se usan generadores de humedad activos, ya que el cuarto de incubación es de un tamaño considerable. En cambio, para aplicaciones de pequeña escala, como la del presente proyecto, es más común el uso de un elemento generador de humedad de tipo pasivo, el cual consiste en colocar un

recipiente lleno de agua dentro de la incubadora, ubicado en la parte más baja de la misma. El humidificador pasivo es el más usado en aplicaciones de pequeña escala por su sencillez y bajo costo. El agua requerida por el sistema de incubación se describe en la sección 2.6.2.2.

### **1.6.3 Sistema de volteo**

Los requerimientos de volteo de los huevos durante la incubación involucran parámetros como frecuencia, eje de inercia, ángulo de volteo, planos de rotación y etapa de incubación en la que es más crítico el volteo. Anim (2012) demuestra en su experimento que el volteo es más crítico en la primera semana de incubación y que se puede suspender a partir del día 12 de incubación sin ningún efecto en la incubabilidad. Sin embargo, Anim (2012) también explica que es una práctica común mantener el volteo hasta el día 18 de incubación. El sistema de volteo de la incubadora descrita en este documento seguirá esta práctica y permanecerá activo hasta el día 18 de incubación.

Además de los beneficios de un volteo regular descritos en la sección 1.2.5, Anim (2012) también menciona los siguientes:

- ✓ Evita el mal posicionamiento del embrión.
- ✓ Previene la adhesión anormal del embrión o de las membranas embrionarias a las membranas del cascarón.
- ✓ Asegura la utilización apropiada del albumen por el embrión en desarrollo, dentro del periodo normal de incubación.
- ✓ Garantiza el cierre completo de los corioalantoides en el extremo más estrecho del huevo.

El responsable de mover los huevos junto con la estructura que los soporta es un motor eléctrico, el motor debe tener el torque suficiente para sacar las bandejas del reposo. El movimiento rotacional del motor es convertido en movimiento traslacional a través de un mecanismo de barras que esta soldado a las bandejas.

### **1.6.3.1 Motores**

Existen diversas alternativas de motores eléctricos, pero el tipo de motor más adecuado para esta aplicación es el motor de corriente continua.

La aplicación del volteo no es sensible a precisión, pero si se requiere que los huevos giren suavemente, además que se requiere que el motor tenga el torque suficiente para sacar las bandejas del reposo e inclinarlas 45° con respecto a la horizontal, asimismo hay que tomar en consideración que por el peso de los huevos, las bandejas y la inercia propia del sistema, si el motor no tiene algún tipo de caja mecánica que mantenga una posición fija una vez apagado el mismo, los bandejas acabarían volcándose, quebrando así los huevos.

Jimenez y Veloza (2008) recomiendan el mecanismo “engranaje de gusano”, por ser el tornillo de este mecanismo 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, luego al eje y posteriormente al mecanismo de barras. Pero cuando el movimiento entra por el eje y se transmite a la rueda, esta se bloquea y no permite moverse de esa posición. Esta característica del “engranaje de gusano” evita la volcadura de la bandeja de huevos, propiciada por el peso de los mismos.

Es por esta razón que el motor DC seleccionado incluye caja mecánica del tipo “engranaje de gusano” para evitar la volcadura de los huevos cuando estos estén en reposo 45° con respecto a la horizontal.

En la sección 2.6.1.1 se describe a profundidad las características del motor eléctrico utilizado por el sistema de incubación artificial.

### **1.6.4 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 usan un ventilador cuyo tamaño está relacionado a la cantidad de *cfm's* (cubic feet per minute, por sus siglas en inglés) que necesita la incubadora.

Según Cobb-Vantres (2013), el volumen de aire requerido por 1,000 huevos es de  $8cfm$ . Entonces, el caudal de aire necesario para 100 huevos es de:

$$\frac{1,000 \text{ huevos}}{100 \text{ huevos}} = \frac{8cfm}{x} \quad (\text{Ec. 1. 1})$$

$$x = \frac{100 * 8}{1,000} = 0.8cfm$$

El prototipo de incubadora descrito en este informe requiere un flujo de  $0.8cfm$  como mínimo para que los embriones dentro de los huevos no sufran muerte embrionaria temprana debido a asfixia. Un ventilador de 10 cm de diámetro bastará para alcanzar este requerimiento, también se hicieron orificios en la placa inferior de la incubadora para facilitar la salida del aire viciado por la expulsión de  $CO_2$  por parte de los embriones. En la sección 2.6.2.1 se detallan las características técnicas del ventilador utilizado por el sistema de incubación.

## 1.7 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación asume un rol único dentro de un sistema electrónico. En muchos aspectos, se le considera la madre del sistema. Le da vida al mismo al proveer de forma consistente energía a sus circuitos, además es el primer punto de defensa del sistema en contra de interferencias eléctricas, incluso si la fuente sufre una falla, debe fallar de forma tal que no sea perjudicial para la carga.

El proceso de selección de la fuente de alimentación, se guía por los siguientes parámetros que están en correlación con las características del sistema a implementar:

1. Costo.
2. Peso y espacio.
3. Eficiencia
4. Tolerancia a ruido de la carga.
5. El número de salidas de voltaje requeridas y sus características particulares.
6. Tiempo de elaboración

Existen tres grandes tecnologías que pueden ser consideradas al momento de elaborar una fuente de alimentación:

**Reguladores lineales:** Son usados predominantemente en quipos donde la generación de calor y la baja eficiencia no sean la mayor de las preocupaciones y también donde el bajo costo y el corto tiempo de diseño son factores clave. Estas son muy populares en sistemas de poder que trabajan en voltajes por debajo de 40VDC. Para productos “off line” (los conectados a la pared) una etapa de protección por delante del regulador debe ser anexada para producir aislamiento dieléctrico de la línea de alimentación AC. Los reguladores lineales solo pueden producir voltajes menores al voltaje de entrada. Cada regulador lineal tiene un promedio de eficiencia entre 35 y 50 por ciento. Las pérdidas son disipadas en forma calor.

**Fuentes conmutadas por PWM:** Las Fuentes conmutadas por PWM son mucho más eficientes y flexibles que los reguladores lineales. Uno de los campos en el cual son mayormente utilizadas es en productos portables, productos automotrices, pequeños instrumentos, aplicaciones off-line y aplicaciones donde la eficiencia y múltiples salidas sean requeridas. Su peso es menor comparado con los reguladores lineales por lo que requieren un disipador de calor más pequeño en las mismas salidas de voltaje. Sin embargo, tienen un costo mayor, requieren un mayor tiempo de desarrollo y generan mucho ruido eléctrico.

**Fuentes conmutadas de alta resonancia:** Esta es una variación de las fuentes conmutadas PWM básicas. Estas tienen aplicaciones donde un peso ligero y tamaño reducido es deseado y más importante donde una cantidad reducida de ruido radiado (interferencia) es deseado. Los productos comunes donde estas fuentes de alimentación son utilizadas son en la aeronáutica. Un inconveniente de esta fuente de alimentación es que requiere la mayor cantidad de tiempo de diseño de ingeniería y usualmente cuestan más que las otras dos tecnologías.

### **1.7.1 Determinación del tipo de fuente de alimentación más conveniente.**

La industria usa mayoritariamente las fuentes conmutadas por PWM por sobre los reguladores lineales. Las fuentes conmutadas resonantes están emergiendo

lentamente como la tecnología madura y sus diseños se hacen más fáciles. Para ayudar en la selección, en la tabla se resumen algunas de las consideraciones realizadas durante la selección de la tecnología a utilizar para nuestro prototipo de incubadora.

*Tabla 1.1: Comparación entre fuentes de alimentación. Tomado de Brown (2001)*

	Regulador lineal	Fuente conmutada por PWM	Fuente conmutada resonante	Fuente conmutada Quasi-Resonante.
<b>Costo</b>	Bajo	Alto	Alto	El mas alto
<b>Peso</b>	Alto	Bajo-Medio	Bajo-Medio	Bajo-Medio
<b>Ruido</b>	Ninguno	Alto	Medio	Medio
<b>Eficiencia</b>	35-50%	70-85%	78-92%	78-92%
<b>Multiples salidas</b>	No	Si	Si	Si
<b>Tiempo de produccion</b>	1 Semana	8 Meses-persona <sup>a</sup>	10 Meses-persona <sup>a</sup>	10 Meses-persona <sup>a</sup>
<b><sup>a</sup> Basado en un razonable nivel de experienciencia y habilidades</b>				

Uno de los objetivos de este proyecto monográfico, es que el sistema de incubación sea de bajo costo. La fuente de alimentación de regulador lineal es por mucho la alternativa más económica y fácil de implementar. Además, un regulador lineal típico como el LM7812 puede suplir hasta 1A de corriente, lo cual es más que suficiente para la circuitería del sistema de incubación artificial. El consumo energético del sistema se describe en la sección 2.7.

## 1.8 Sistema de monitoreo

Las incubadoras comerciales, con una capacidad similar a la descrita en este documento, no cuentan con ningún tipo de monitoreo, en cambio las incubadoras industriales si lo incorporan. El sistema de monitoreo ayuda a controlar o supervisar el proceso de incubación, mediante este sistema el usuario puede observar en tiempo real los parámetros de interés y consultar como ha sido el comportamiento de la incubadora a lo largo del proceso de incubación, facilitando al usuario detectar eventuales anomalías en la incubadora que se puedan estar presentando de manera repetitiva.

### 1.8.1 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.

El sistema de monitoreo computarizado tendrá las siguientes funcionalidades:

- Visión de forma gráfica de las principales variables de interés de la incubadora como son la temperatura y la humedad, para un monitoreo eficaz.
- Registro histórico.
- Calendario de manejo.
- Acceso remoto mediante red LAN.

#### 1.8.1.1 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. Al utilizar una máquina virtual se pueden utilizar dos sistemas operativos simultáneamente o más (depende de la capacidad de la computadora), lo cual puede ser beneficioso sino se cuenta con una computadora adicional para dedicarla al uso del sistema de monitoreo. Sin embargo, se debe poseer una computadora con ciertas capacidades para la virtualización, ya que se requieren muchos hilos de procesamiento, amplia memoria RAM, amplio almacenamiento masivo para datos y tarjeta gráfica dedicada. Por lo tanto, se optó por trabajar con

una maquina dedicada con interfaz de consola la cual es más liviana, estable y no requiera tanta memoria como lo requeriría un sistema operativo con interfaz gráfica o un sistema operativo virtual.

En cuanto al sistema operativo que se debe instalar en la máquina dedicada, hay tres opciones: instalar Windows Server de Microsoft, instalar una distribución de Linux o instalar UNIX. Linux presenta varias ventajas frente a Windows y UNIX, las cuales se listan a continuación:

- ✓ Seguridad
- ✓ Servidores: Linux domina el mercado de los servidores desde hace varios años.
- ✓ Interoperabilidad
- ✓ Amplia documentación: existe una comunidad de usuarios bien desarrollada.
- ✓ Linux está bajo licencia GNU y, por lo tanto, el kernel de Linux es completamente libre y gratuito, es decir cualquier persona puede modificar el código fuente, el cual está disponible para todo el mundo.

Por las razones mencionadas anteriormente, se ha optado por usar una distribución de Linux, propiamente Ubuntu, la cual es una de las distribuciones más versátiles, populares y que cuenta con vasta documentación.

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 páginas dinámicas
- Soporta uso de PHP para gestión dinámica de la base de datos.

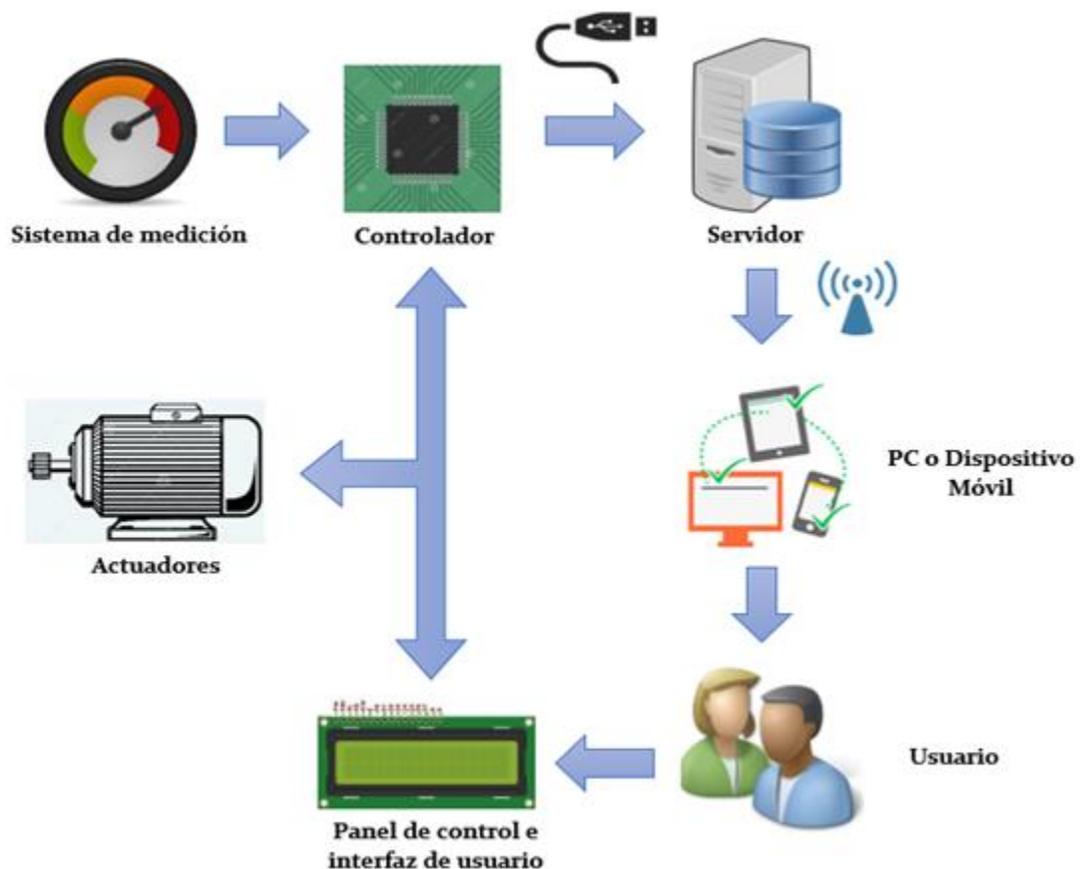
Para el desarrollo de la interfaz gráfica se hará uso del software Dreamweaver CC, que es un reconocido programa de diseño de páginas web.

# CAPÍTULO II: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA INCUBADORA

En este capítulo son presentados aquellos aspectos relacionados con el diseño e implementación de los principales subsistemas que conforman la incubadora.

## 2 Modelo de Incubadora de huevos.

El sistema de incubación artificial fue diseñado e implementado de forma tal que cumpla con los parámetros óptimos de incubación para maximizar los resultados de incubabilidad, estos parámetros fueron descritos en la sección 1.2. En la figura 2.1 se puede apreciar el esquema del sistema de incubación artificial implementado.



2.1: Sistema de incubación artificial implementado

Una de las primeras acciones que el usuario debe realizar para activar el sistema de incubación artificial es configurar la fecha y hora actual, esto se realiza sólo una vez, luego se da por iniciado el ciclo de incubación. Entonces, el controlador recibe la información proveniente del sistema de medición y realiza los ajustes necesarios para garantizar un buen ambiente para la incubación de los huevos, asimismo el sistema de incubación cuenta con interfaz de comunicación USB para conectarse con la computadora donde se almacena el servidor web, enviándole las principales variables del proceso para que el servidor las almacene en una base de datos para luego mostrar estas variables de forma gráfica y entendible por el usuario, todo esto a través de una página web, con el fin de llevar un seguimiento más completo y cómodo del proceso de incubación.

## **2.1 Determinación de componentes electrónicos**

Existen diversas tecnologías para implementar un sistema de incubación artificial, al realizar la revisión de literatura se pudo constatar que muchos de los sistemas de incubación artificial con una escala similar a la del sistema descrito en este documento, implementan controladores, sensores y actuadores que no son electrónicos. Por ejemplo, el termostato de oblea de éter, alcohol o mercurio es una solución muy común. Sin embargo, los sistemas electrónicos ofrecen mayor precisión y confiabilidad. El sistema de incubación artificial descrito en este documento es puramente electrónico. En esta sección se describen los criterios tomados en consideración para la selección de cada uno de los componentes electrónicos implementados en el sistema de incubación artificial, empezando con los sensores.

### **2.1.1 Determinación de sensores**

#### **2.1.1.1 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:

*Tabla 2.1: Comparación de medidores de temperatura*

Característica técnica necesaria	Cámara Infrarroja	Termómetro Digital	Termocupla	Termistor	Circuito Integrado	RTD
<b>Precisión (Alta)</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>Exactitud (<math>\pm 0.1</math> °C)</b>	✓	✓	x	✓	✓	✓
<b>Tamaño reducido</b>	x	✓	✓	✓	✓	x
<b>Velocidad de respuesta (Rápido)</b>	✓	✓	✓	✓	✓	x
<b>Facilidad de uso</b>	x	✓	✓	x	✓	x
<b>Costo inicial (Bajo)</b>	x	x	✓	x	✓	x
<b>Costo de mantenimiento (Bajo)</b>	x	x	✓	x	✓	x
<b>Linealidad (&gt; 90%)</b>	✓	x	x	x	✓	✓
<b>Rango de temperatura (20-50°C)</b>	✓	✓	✓	✓	✓	x
<b>Conexión a micro controlador (One-Wire, SPI, I2C, ADC)</b>	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 DS18S20. Para la elección del circuito integrado se tomaron en cuenta parámetros como exactitud ( $< 0.5$ °C), calibración directa en grados centígrados, linealidad (por debajo de  $\pm 0.5$ °C) costo y su disponibilidad en el mercado local, a como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.2: Comparación de características de sensores de temperatura

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	✓	✓	✗	✗
Calibración directa en grados centígrados	✗	✓	✗	✓

Como se puede apreciar el circuito integrado que será usado es 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.

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  $150^{\circ}$  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  $0.1^{\circ}\text{C}$ . El presente 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.

#### 2.1.1.2 Medición de humedad

Entre los instrumentos que se tienen 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. 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 atmosfera.
- **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:

Tabla 2.3: Comparación de medidores de humedad

Característica técnica necesaria	Higrómetro	Termómetro de bulbo húmedo	Hidrotermografo	Círculo 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 medir la humedad en el recinto de incubación es la utilización de circuitos integrados. En este caso el circuito integrado usado es el **HIH4000** debido a sus 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.

El sensor es de bajo consumo, propiamente  $200\mu A$ . La temperatura máxima en la que puede operar este sensor es de  $150^{\circ}C$  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.

## **2.1.2 Determinación de Drivers**

Los microcontroladores son componentes digitales y no pueden manejar tensiones e intensidades más allá de los 5V y 50mA, aproximadamente. Pero los actuadores pueden ser componentes de media hasta alta potencia y el microcontrolador no puede suplir la demanda de corriente y tensión de estos elementos. Un ejemplo claro de este problema en el sistema de incubación artificial es en la resistencia térmica del sistema, cuya corriente y voltaje de operación es de 3A y 120VAC, respectivamente. El microcontrolador no es capaz de controlar por si solo la resistencia térmica, ya que estos elevados niveles de tensión y corriente lo destruirían. Se debe confiar esta labor a los llamados circuitos controladores o drivers. En esta sección se describen los drivers utilizados en el sistema de incubación artificial.

### **2.1.2.1 Driver de potencia**

El sistema de incubación artificial necesita controlar periódicamente la potencia entregada a la resistencia térmica, debido a que el uso de este control es muy frecuente, el típico relé es obsoleto para la aplicación, ya que los contactos de este tienen una vida útil mucho menor a la de un semiconductor, por ser sus contactos de movimiento mecánico. Para evitar este problema, se variará la potencia entregada a la resistencia térmica usando un TRIAC, propiamente el BTA12-600BW3. El TRIAC es un dispositivo semiconductor de tres terminales que se usa para controlar el flujo de corriente promedio en la carga. Este TRIAC es controlado mediante el opto-acoplador MOC3020, el cual a su vez recibe la señal de disparo del circuito integrado controlador de fase, el TCA-785. La forma de graduar la potencia entregada a la resistencia térmica es regulando la cantidad de semi-ciclos en conducción respecto a los de no conducción.

El TCA785 es un circuito integrado de control de fase desarrollado por Siemens y posterior al TCA 780 y TCA 780D. Debido a las características de las señales que

es capaz de proporcionar, es ideal para controlar el disparo de los dispositivos de potencia. Aunque su uso es muy variado y abarca un amplio número de aplicaciones dentro del mundo de la electrónica, sus características hacen de él un candidato inmejorable para formar parte del bloque de control de un sistema de potencia; en concreto formaría el enlace entre el núcleo del bloque de control y la parte de potencia, generando las señales requeridas en función de la señal de control en su pin de entrada. Este circuito integrado está orientado para controlar Tiristores, Triacs y transistores, además de tener adjunto un circuito cruce por cero. Los pulsos de disparo pueden ser cambiados de fase en un rango de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ . Sus principales aplicaciones incluyen circuitos convertidores, controladores AC y controladores de corriente de tres fases.

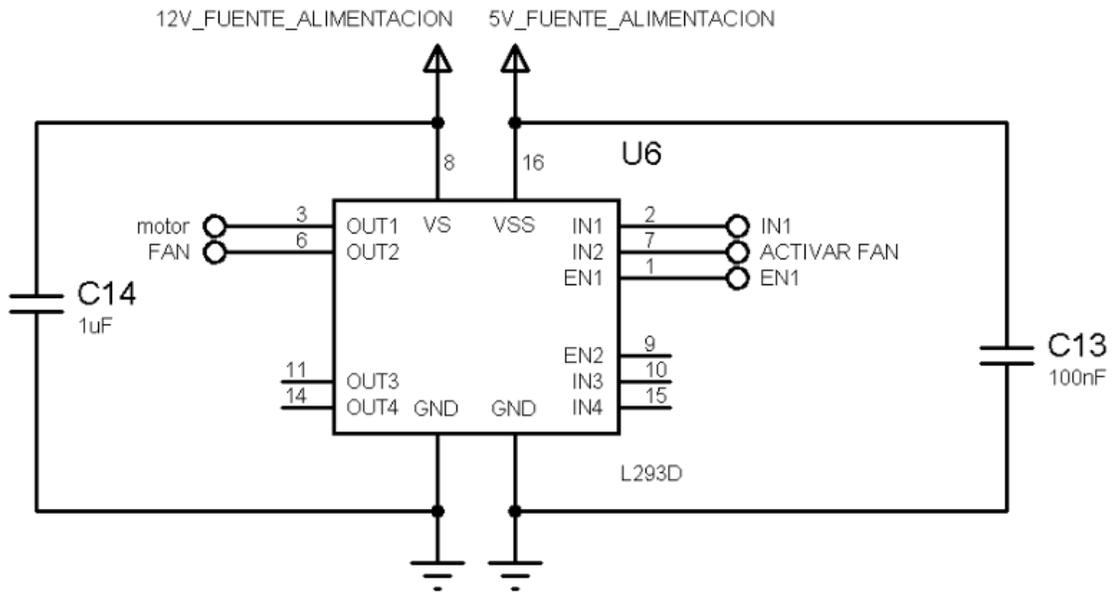
El circuito integrado TCA -785, contiene internamente las partes de: Cruce por cero; Integrador; Comparador y Circuito monoestable de salida, en forma muy similar al circuito de control de disparo discreto, en un solo C.I. tipo DIP de 16 terminales. Por lo tanto, sólo se requiere (en forma opcional) del circuito Driver de corriente (transistor) y el transformador de pulsos, para controlar el ángulo de disparo de un circuito de control de potencia. Es importante indicar además que este circuito tiene dos salidas para controlar el ángulo de disparo en cada uno de los semi-ciclos de la señal alterna.

Se tomó como referencia para este proyecto el circuito de aplicación del TCA-785 que el fabricante recomienda en su hoja de datos el cual se muestra en la figura 2.2.



así como otras cargas de alta corriente y de alto voltaje con una alta inmunidad al ruido eléctrico, lo que lo hace el candidato perfecto para controlar el motor y el ventilador del sistema de incubación artificial.

Las señales de control que recibe el L239D para activar o desactivar el motor y el ventilador son generadas por el microcontrolador.

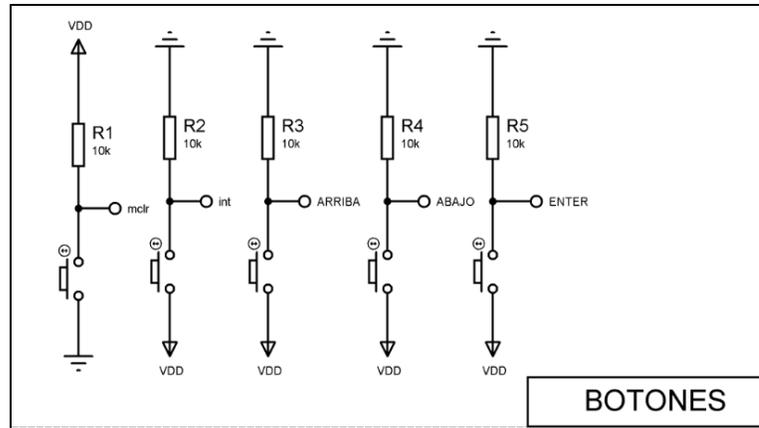


2.3: Driver de motores. (Captura de pantalla)

## 2.1.3 Entradas

### 2.1.3.1 Botones de configuración y reset

Debido a que el sistema es dependiente de la fecha y la hora, es necesario que el usuario pueda ingresar estos datos de forma manual antes de iniciar el proceso de incubación. Esto, junto con otras funciones adicionales de la incubadora, fueron implementados con 5 botones, cuya configuración se muestra en la figura 2.4. Asimismo, en la tabla 2.4 se detallan las funciones de la incubadora para diferentes combinaciones de botones.



2.4: Configuración de botones. (Captura de pantalla)

Tabla 2. 4: Funciones de la incubadora y las configuraciones de botones para activarlas

Funciones	Botones				
	Arriba	Ok	Abajo	INT	MCLR
<b>Configurar fecha y hora</b>	■	■	■		
<b>Modificar días de incubación</b>	■		■		
<b>Activar comunicación USB</b>		■	■		
<b>Desactivar comunicación USB</b>	■	■			
<b>Girar libremente las bandejas</b>			■	■	
<b>Reiniciar el sistema</b>					■

### 2.1.4 Microcontrolador

El microcontrolador es el componente más importante del sistema de incubación. Es el responsable de las siguientes funciones: adquisición e interpretación de los datos enviados por parte de los sensores, aplicar las configuraciones realizadas por el usuario, mantener la interfaz de comunicación con el usuario (LCD) y con el servidor (USB), además aplica todas las acciones de control sobre la planta para lograr los objetivos deseados. Es por esto que se hace necesario escoger un microcontrolador que tenga un alto desempeño computacional, confiabilidad, basta memoria y todo esto a un precio asequible.

La familia de microcontroladores de MICROCHIP PIC18F2455/2550/4555/4550 cumple con dichos requerimientos. Se ha seleccionado el PIC18F4550 ya que cumple con el número de entradas y salidas necesarias (Chip de 40 pin con 5

puertos bidireccionales) para el sistema de incubación artificial, posee suficiente memoria (32Kbytes) para implementar todo el software en un solo chip, cuenta con un módulo de comunicación USB que obedece a la especificación USB de la revisión 2.0 y por su bajo costo (típicamente \$4).

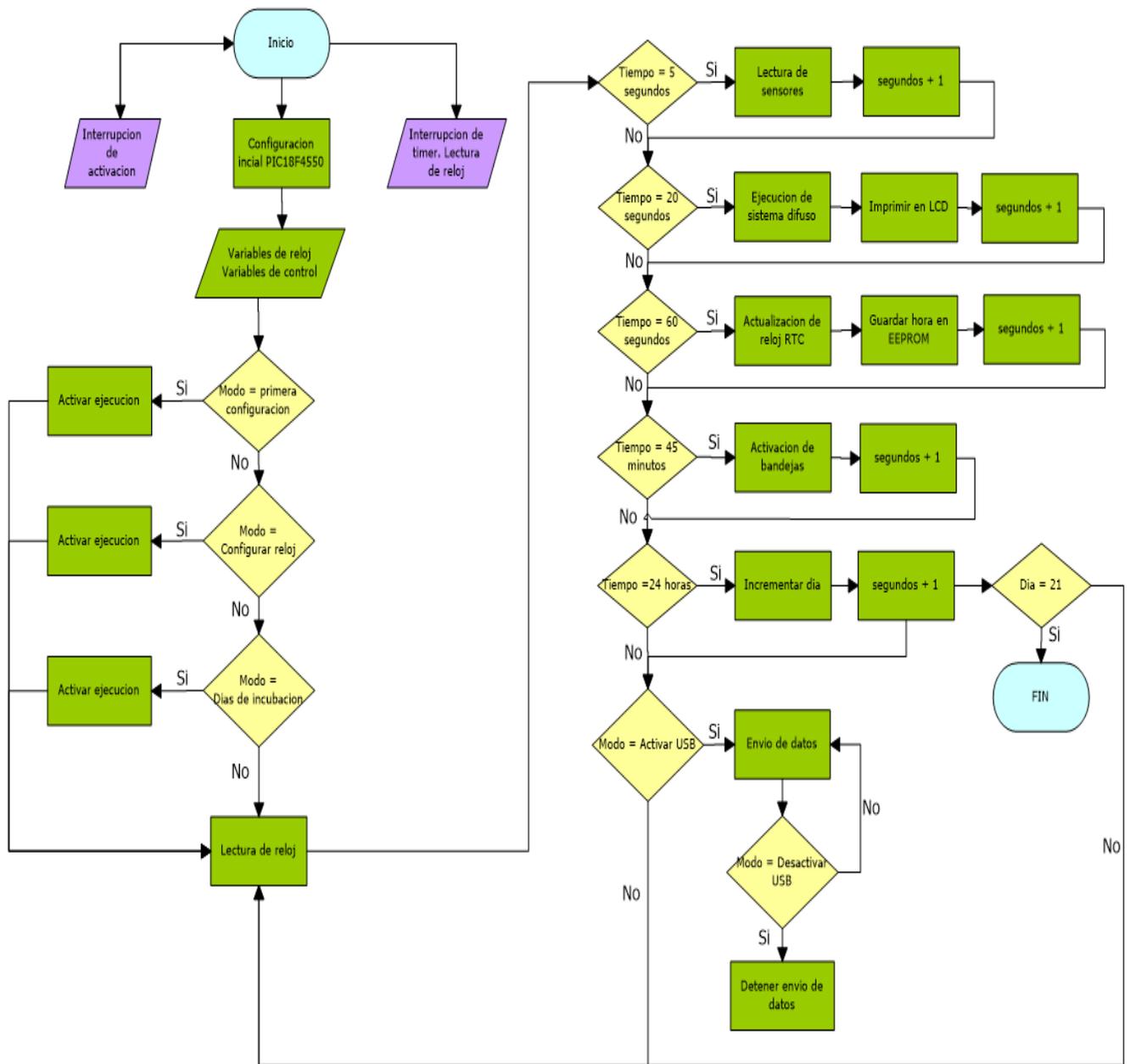
En la tabla 2.5 se muestran otras características que posee el microcontrolador PIC18F4550 que lo hicieron el candidato idóneo para su uso en el sistema de incubación artificial.

Tabla 2.5: Características PIC18F4550

PIC18F4550	
Frecuencia de operación	DC-48MHz
Memoria de programa (Bytes)	32768
Memoria de programa (instrucciones)	16384
Memoria de datos (Bytes)	2048
EEPROM (Bytes)	256
Fuentes de interrupción	20
Puertos E/S	Puertos A, B, C, D, E
Timers	4
Módulos CCP	1
Comunicación Serial	MSSP, USART mejorado
Modulo USB	1
SPP	Si
Módulo ADC 10 bit	13 canales de entrada
Comparadores	2
Reinicios y retardos	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), $\overline{MCLR}$ , WDT

#### **2.1.4.1 Funcionamiento de la incubadora.**

En la figura 2.5 se puede apreciar el flujograma del sistema de incubación, en primer lugar, el microcontrolador ejecuta su programa y solicita al usuario ingresar datos de importancia tales como la hora actual y la fecha, estos datos se guardan en el reloj de tiempo real DS1307, el cual está conectado al microcontrolador mediante el protocolo I<sup>2</sup>C, finalizado esto se da por iniciado el ciclo de incubación y se empieza a visualizar en la pantalla la hora que ha ingresado el usuario, días de incubación, lectura de los sensores de temperatura y humedad, además empiezan a aplicarse a la planta las acciones de control necesarias para mantener la temperatura en el valor adecuado. También se empiezan a mover las bandejas cada cierto tiempo. Paralelamente al ciclo de incubación el usuario puede activar o desactivar las funciones de comunicación USB para enviar la lectura de los sensores al servidor externo y que este pueda mostrar dichas lecturas de forma gráfica en la página web. En la tabla 2.6 se detallan la asignación de pines del microcontrolador PIC18F4550 para el sistema de incubación artificial.



2.5: Flujograma de control del sistema de incubación artificial

Tabla 2.6: Asignación de pines PIC18F4550

Asignación de pines PIC18F4550			
PIN	Nombre	Tipo de dato	Descripción
1	RE3	Entrada	Botón de Reset (Master Clear) de PIC
2	RA0	Entrada	Lectura de sensores de temperatura
3	RA1	Entrada	Lectura de sensor de humedad
4	RA2	Entrada	Lectura de sensor de humedad
5	RA3	Salida	N/D
6	RA4	Salida	N/D
7	RA5	Salida	N/D
8	RE0	Salida	RGB Rojo
9	RE1	Salida	RGB Verde
10	RE2	Salida	RGB Azul
11	VDD	Entrada	VDD +5V Alimentación
12	VSS	Entrada	GND alimentación
13	OSC1	Entrada	Oscilador
14	RA6/OSC2	Entrada	Oscilador
15	Salida	N/D	N/D
16	RC1	Salida	PWM1 salida de control TCA
17	RC2	Salida	PWM2 salida de control FAN
18	VUSB	Entrada	Capacitor para conexión USB
19	RD0	Salida	Pin de activación de Driver L293D
20	RD1	Salida	LCD bit de dato RS
21	RD2	Salida	LCD bit de dato E
22	RC3	Salida	LCD bit de dato RW
23	RC4	Entrada/ Salida	USB D -
24	RC5	Entrada/ Salida	USB D+
25	RC6	Salida	N/D
26	RC7	Salida	N/D
27	RD4	Salida	LCD bit D4
28	RD5	Salida	LCD bit D5
29	RD6	Salida	LCD bit D6
30	RD7	Salida	LCD bit D7
31	VSS	Entrada	GND Alimentación
32	VDD	Entrada	VDD +5V Alimentación
33	RB0	Entrada/ Salida	I2C SDA
34	RB1	Entrada/ Salida	I2C SDL
35	RB2	Entrada	Botón de selección "INT"
36	RB3	Entrada	Botón de selección "Arriba"
37	RB4	Entrada	Botón de selección "OK"
38	RB5	Entrada	Botón de selección "Abajo"
39	RB6	Salida	Pulso de activación para bandeja
40	RB7	Salida	Pulso de activación para FAN

#### 2.1.4.2 Interfaz de comunicación

Al momento de la búsqueda del trabajo relacionado para la realización de este proyecto, se encontró que la mayoría de las incubadoras comerciales de pequeña escala (50-500 huevos) y mediana escala (500-2000 huevos) no cuentan con un sistema de monitoreo, así como las de gran escala (por encima de 10000 huevos) que cuentan con sistemas de monitoreo modernos. Por tanto, hemos optado por agregar un sistema de monitoreo a nuestro sistema de incubación como una característica que facilite la gestión del proceso de incubación.

Por consiguiente, se hace necesario un sistema de adquisición de datos. La adquisición de datos, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador o PC (sistema digital).

Los puertos más populares para este tipo de aplicación son:

- Puerto Serie
- Puerto Paralelo
- Puerto USB
- Puerto Ethernet
- PCI
- IEEE 802.11 (Wi-Fi)

La mayoría de proyectos similares al nuestro que han implementado un sistema de adquisición de datos, lo han hecho usando softwares como MATLAB y LABVIEW.

Debido a la gran cantidad de información con que se cuenta, facilidad de uso y porque el PIC18F4550 ya cuenta con un módulo USB, se ha optado por usar el puerto USB como medio de comunicación con la computadora. Las señales que recibe el PIC18F4550 por parte de los sensores son convertidas a un formato entendible por el usuario, luego son enviados emulando una comunicación serial a través del módulo USB del microcontrolador, el cual se conecta a la computadora. Para abrir el puerto USB en la computadora, recepcionar los datos entrantes y almacenar los mismos en una base de datos se ha optado por utilizar

el lenguaje de programación de licencia de código abierto Python, cuya filosofía de lenguaje hace hincapié en una sintaxis que favorece un código legible, además que cuenta con los componentes fundamentales para enlazar los datos obtenidos del microcontrolador a la computadora para que sean procesados y mostrados en una página web.

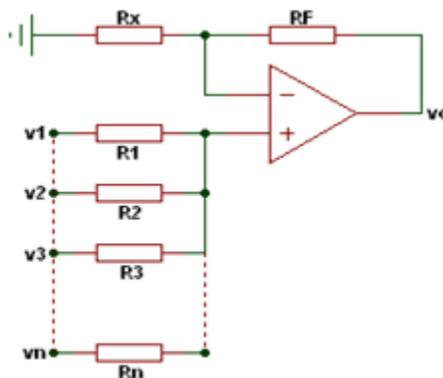
## 2.1.5 Circuitos Electronicos

### 2.1.5.1 Acondicionamiento de señal

Para la creación de este circuito se tomó como base la configuración sumador no inversor del amplificador operacional con ciertas variantes.

El circuito sumador mostrado en la figura 2.7 es un circuito muy útil, basado en la configuración estándar del amplificador operacional inversor. Este circuito permite combinar múltiples entradas, es decir, permite añadir algebraicamente dos (o más) señales o voltajes para formar la suma de dichas señales.

La razón de utilizar un amplificador operacional para sumar múltiples señales de entrada, es evitar la interacción entre ellos, de modo que cualquier cambio en el voltaje de una de las entradas no tendrá ningún efecto sobre el resto de entradas.



2.6: OPAMP sumador no inversor

A continuación, se muestra la ecuación del circuito sumador:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_x}\right) \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right) \quad (\text{Ec. 2. 1})$$

Si en el circuito anterior se ajustan las resistencias de modo tal que:

$$R = R_1 = R_2 = R_3 \text{ Entonces } V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_x}\right) \left(\frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}\right) \quad (\text{Ec. 2. 2})$$

Entonces la ecuación resultante para el esquema mostrado en la figura 2.8 es:

$$V_1 = \text{señal del primer LM35DZ} = T_1$$

$$V_2 = \text{señal del segundo LM35DZ} = T_2$$

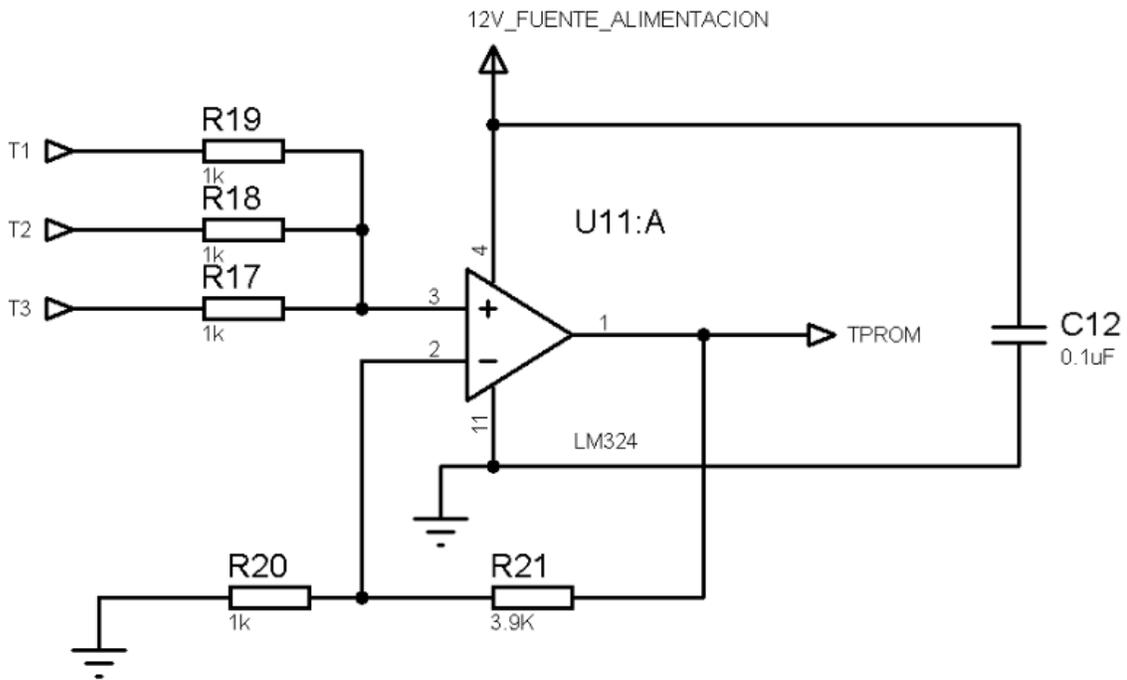
$$V_3 = \text{señal del tercer LM35DZ} = T_3$$

$$R = 1K$$

$$R_f = 3.9K$$

$$R_x = 1K$$

$$V_o = \left(1 + \frac{3.9K}{1K}\right) \cdot \frac{(T_1 + T_2 + T_3)}{3} = 4.9 \cdot \frac{(T_1 + T_2 + T_3)}{3}$$



2. 7: Circuito de Acondicionamiento. (Captura de pantalla)

### 2.1.5.2 Interfaz de potencia

En la tabla 2.6 de la sección 2.1.4.1 se detallaron las entradas y salidas del PIC18F4550. En dicha tabla se puede apreciar el dato de control correspondiente al pin RC1, el cual es una señal PWM a una frecuencia de 5KHz, para trabajar con el máximo de resolución del módulo CCP (10 bits para PWM). La señal PWM ingresa a un filtro pasa-bajos el cual tiene la función de convertir el voltaje en modulación por ancho de pulsos de alta frecuencia (5KHz) a un voltaje con una frecuencia que se encuentre en el rango de operación del TCA-785, que según la hoja de datos del integrado TCA-785, su frecuencia de operación está en el rango de 10Hz-500Hz. Siguiendo esta directriz, se establecerá la frecuencia de corte del filtro pasa-bajos en 320Hz, el cual es un valor arbitrario que se encuentra dentro del rango de operación del TCA-785.

$$f_{PWM} = 5KHz$$

$$f_{TCA} \approx 320Hz$$

Conociendo la frecuencia de operación del filtro procederemos a calcular los valores de los componentes pasivos. Por conveniencia se usó un capacitor de 0.1 $\mu$ F.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (\text{Ec. 2. 3})$$

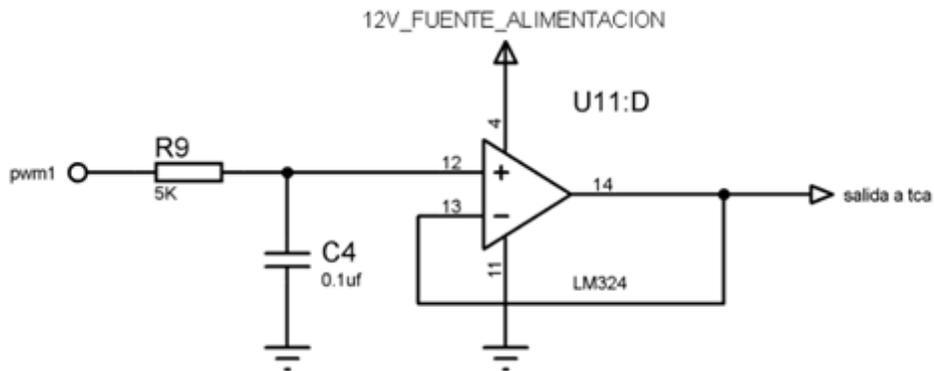
*Sustituyendo los valores de  $f_c$  y  $C$  se procede a calcular  $R$*

$$R = \frac{1}{2\pi C f_c}$$

$$R = \frac{1}{2\pi(0.1 * 10^{-6})(320)}$$

$$R = 4973.59\Omega$$

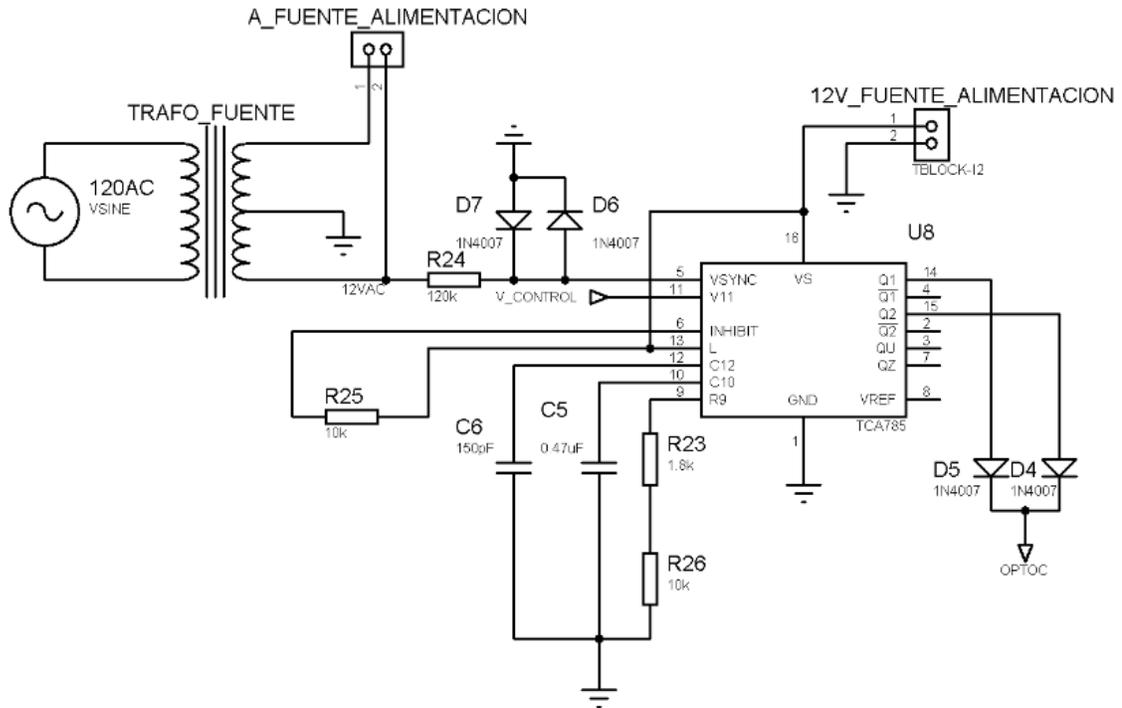
Ya que no existe un valor comercial de 4.97 K-ohm se incorporó una resistencia de 5.1 K-ohm en su lugar. El filtro implementado se muestra en la figura 2.9



2. 8: Filtro pasivo pasa-bajos y seguidor de voltaje. (Captura de pantalla)

El voltaje de sincronización se obtiene desde el secundario de un transformador de 12V/3A conectado a una resistencia de alto ohmio. Un detector de cruce por cero evalúa el cruce por cero de la señal y la transfiere a un registro de sincronización del integrado. Este registro controla un generador tipo rampa.

Si el voltaje de rampa excede el voltaje de control, se evalúa la magnitud del voltaje de control para de esta manera poder cambiar el ángulo de fase de 0° a 180° para finalmente ser enviado a un TRIAC.



2.9: Interfaz de potencia con TCA785. (Captura de pantalla)

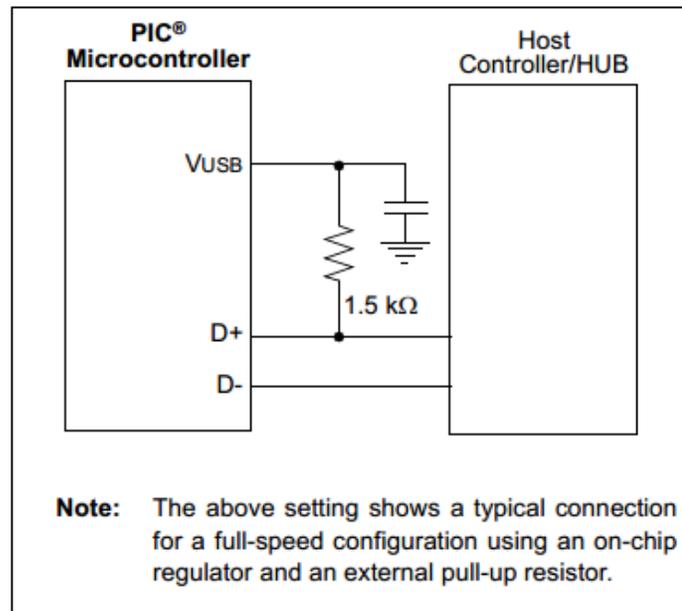
### 2.1.5.3 Comunicación USB

La comunicación USB del PIC18F4550 puede trabajar a dos velocidades, *High-speed* y *Full-speed*. La comunicación USB del sistema de incubación artificial trabaja a *Full-speed*. En la figura 2.11 se muestra el esquema de conexión USB que la hoja de datos del PIC18F4550 propone, el cual cuenta con los elementos necesarios para garantizar la comunicación USB a *Full-speed*.

Existen dos maneras de realizar esta comunicación USB, por medio de HID o por medio de CDC. Cada uno de estos protocolos de comunicación poseen sus ventajas y desventajas. HID (Human Interface Device) generalmente no requiere que el usuario instale algún driver para empezar la comunicación entre el microcontrolador y la computadora, pero su velocidad de transmisión está limitada a 64 Bytes/segundo. Por otro lado, CDC (Communication Device Class) requiere de la instalación de un driver con extensión .INF para que este pueda simular un puerto serie, además usa transferencia tipo BULK así que teóricamente posee un

buen ancho de banda para poder transmitir cadena de datos grandes, aunque no está completamente garantizado.

El envío de datos se lleva a cabo haciendo uso de las funciones CDC del compilador PIC CCS. Esto emula un puerto serie a través de USB, los datos se configuran y envían en el formato 8N1, es decir, 8 bits sin paridad y 1 bit de parada.



2.10: Comunicación USB. Tomado de: <http://ww1.microchip.com>

### 2.1.5.3.1 Comunicación con la computadora



2.11: Python 2.7 ID

Una vez establecida la conexión física entre el microcontrolador y la computadora, es necesario que este último obtenga los datos que está recibiendo constantemente por parte del microcontrolador, siempre y cuando el usuario haya hecho uso de la función “activar USB” descrita en la sección 2.1.3. Por lo que es necesario tener un programa que sirva de host. Esto se ha logrado mediante el lenguaje de alto nivel, Python 2.7.

La configuración del puerto en Python 2.7 es sencilla y se realiza utilizando el módulo Pyserial, el cual está disponible para su descarga gratuita en <https://pypi.python.org/pypi/pyserial/2.7> o bien instalando dicho modulo desde la terminal de nuestro servidor usando el comando “*sudo apt-get install Python-pyserial*”. Una vez instalado, sólo hace falta cargar el puerto mediante una única línea del módulo *pyserial*. Cabe señalar que el lenguaje de programación Python solo es usado como puente en la comunicación entre el microcontrolador y la computadora, el microcontrolador en si fue programado usando CCS.

### **2.1.6 Simulación del sistema**

Para la simulación del sistema electrónico se utilizó el reconocido software ISIS PROTEUS el cual permite diseñar el esquemático del circuito que se desee realizar con componentes muy variados, desde simples resistencias hasta alguno que otro microprocesador o microcontrolador, incluyendo fuentes de alimentación, generadores de señal y muchos otros componentes con prestaciones diferentes. La característica más atractiva de ISIS es que sus diseños pueden ser simulados en tiempo real mediante el módulo VSM.

#### **2.1.6.1 Simulación acondicionamiento de señal**

El sensor de temperatura LM35DZ tiene como ganancia una cantidad de 10mV/°C, por ejemplo, cuando el ambiente se encuentra a 0°C el voltaje de salida será de 0V y cuando la temperatura del ambiente se encuentra a 50°C su voltaje será de 500mV (10mV \* 50°C). Por tanto, el voltaje máximo de salida que puede presentar el sensor LM35DZ es de 1.5V. El microcontrolador usa un convertidor analógico-digital de 10 bits, es decir, posee un rango de 1024 ( $2^{10}$ ) posibles valores que puede tomar y en una escala de 5V la resolución es de 4.89mV (5V / 1023).

Se puede notar que el sensor LM35DZ tiene señales de salida pequeñas y no puede abarcar todo el rango (5V) del ADC del microcontrolador, por consiguiente, solo se utiliza una porción de los 1024 valores posibles del ADC. Sin embargo, aumentando la ganancia de salida del sensor LM35DZ se logró utilizar con mayor

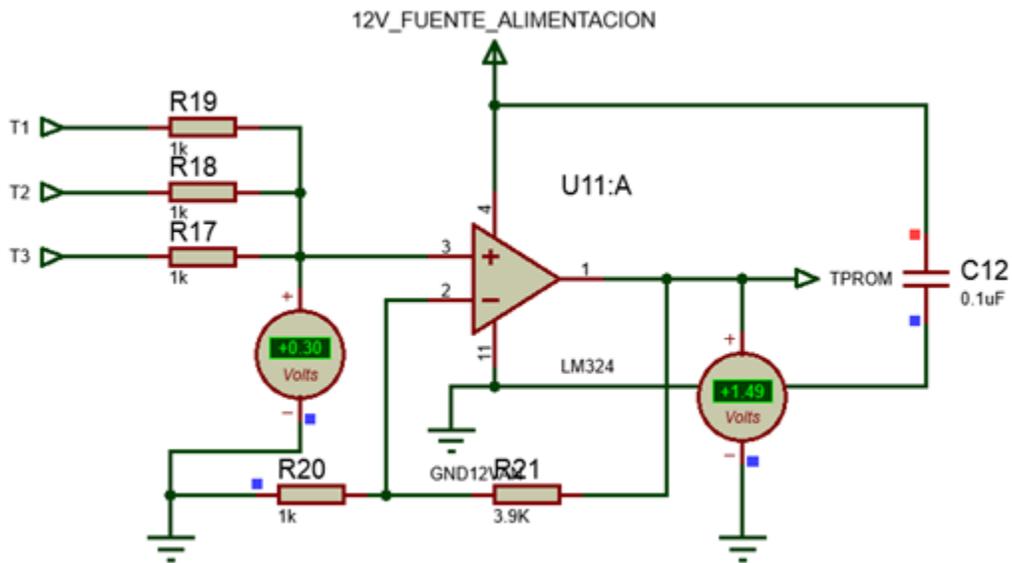
eficiencia el rango del ADC. Para tal fin se implementó un amplificador operacional, el cual es un dispositivo que puede aumentar cualquier tipo de señal, sea de voltaje o de corriente, de corriente alterna o de corriente directa. Una ganancia de 5 fue suficiente para que el sensor pudiera abarcar el rango de 1024 valores. En la figura 2.13 se muestra el circuito del amplificador operacional en su configuración sumador no inversor el cual fue anteriormente descrito en la sección 2.2.5.1. Suponiendo que la temperatura ambiente medida por los sensores es de 30°C entonces el voltaje en la entrada no inversora es de 0.30V producto de la suma de las 3 ganancias de salida de los sensores, usando la ecuación 2.2:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_f}{R_x}\right) \left(\frac{V_1 + V_2 + V_3}{3}\right)$$

$$V_o = 4.9 * \frac{0.3 + 0.3 + 0.3}{3} = 4.9 * \frac{0.9}{3}$$

$$V_o = 4.9 * 0.3$$

$$V_o = 1.47V$$



2.12: Simulación de circuito acondicionador. (Captura de pantalla)

### 2.1.6.2 Simulación driver de motor

Cada una de las salidas del driver de motores L293D se pueden habilitar en pares por medio de una señal TTL. Los circuitos de manejo de potencia 1 y 2 se habilitan con la señal 1,2EN y los circuitos 3 y 4 con la señal 3,4EN.

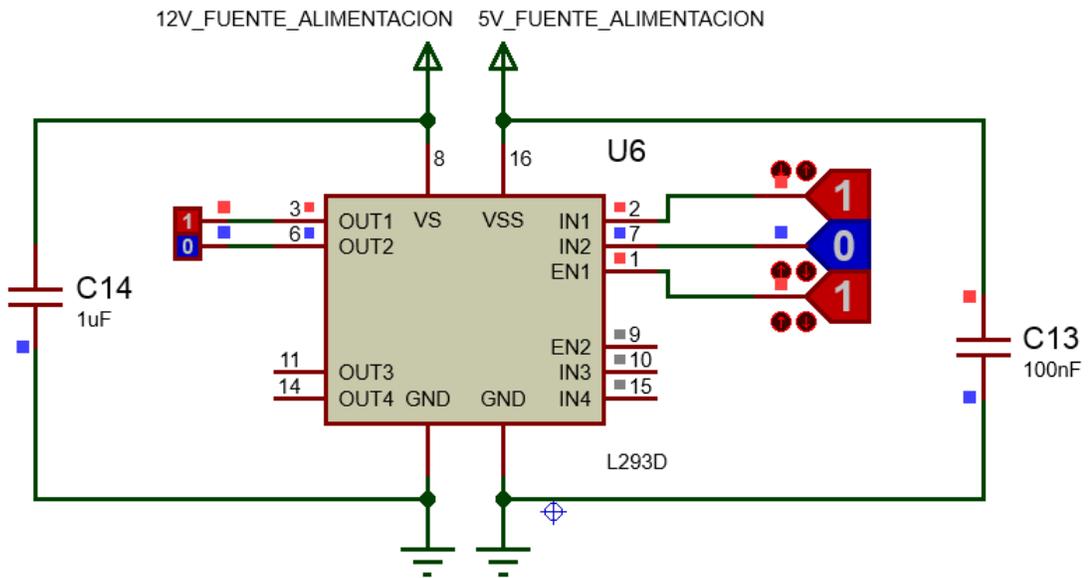
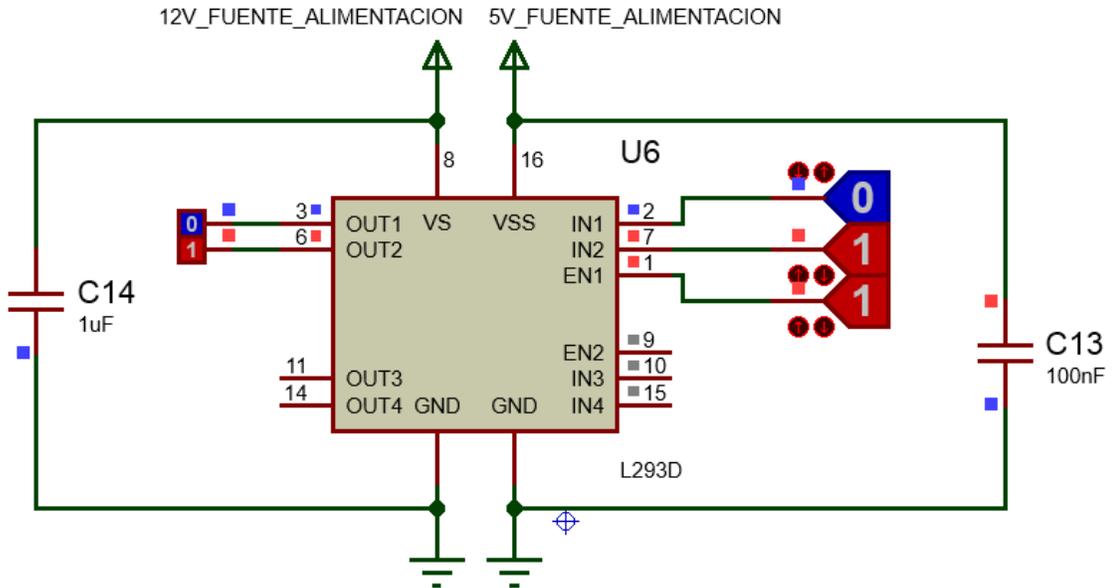
Las entradas de habilitación permiten controlar con facilidad el circuito, lo que facilita la regulación de velocidad de los motores por medio de una modulación de ancho de pulso. En ese caso, las señales de habilitación en lugar de ser estáticas se controlarían por medio de pulsos de ancho variable.

Las salidas actúan cuando su correspondiente señal de habilitación está en alto. En estas condiciones, las salidas están activas y su nivel varía en relación con las entradas. Cuando la señal de habilitación del par de circuitos de manejo está en bajo, las salidas están desconectadas y en un estado de alta impedancia. Para una mejor comprensión, vease tabla 2.7.

Tabla 2.7: Funcionamiento de driver L293D. Tomado de: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>

Entradas		Salida
A	EN	Y
H	H	H
H	L	L
X	L	Z
<b>H = 1 logico</b> <b>L = 0 logico</b> <b>Z = Alta impedancia</b>		

En la figura 2.14 se muestra la simulación de los diferentes estados de entradas y salidas del driver L293D.



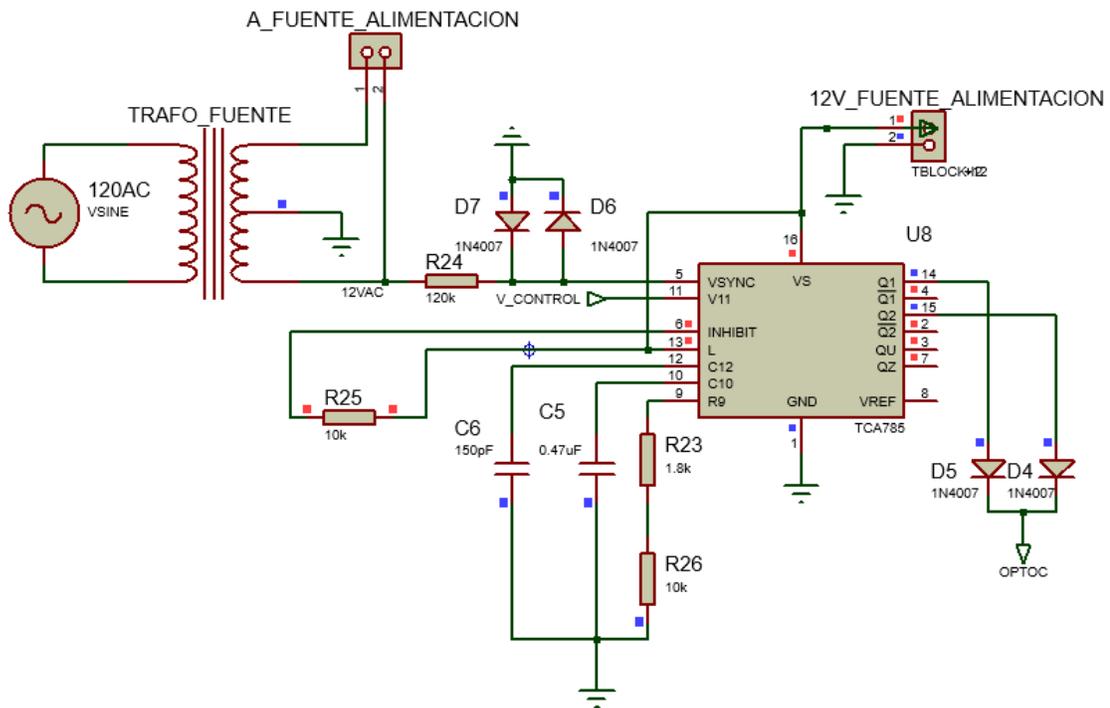
2.13: Simulación de driver de motores. (Captura de pantalla)

### 2.1.6.3 Simulación driver de potencia

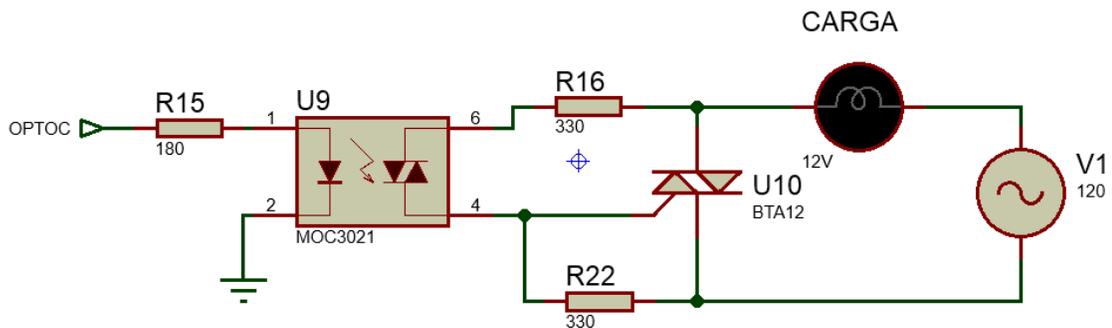
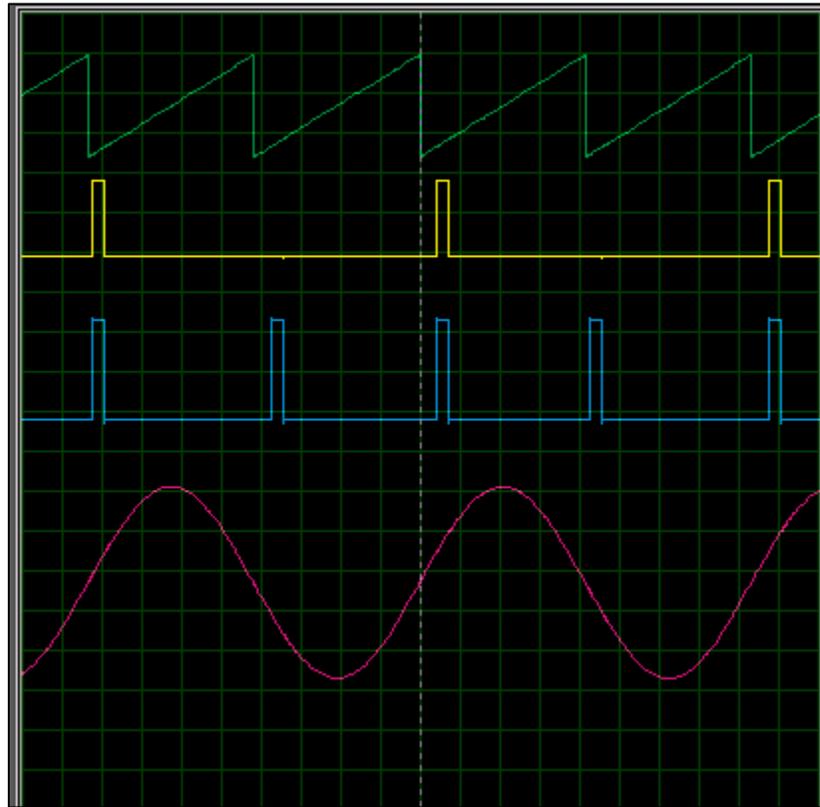
Como se describió anteriormente se tomó como referencia el circuito proporcionado por la hoja de datos del fabricante y se hicieron leves modificaciones. En la figura 2.15, se observa el circuito utilizado para este proyecto, nótese también las gráficas obtenidas a partir de la simulación que se

muestran en la figura 2.16, en ella se muestran lo que son la señal tipo rampa generada por el TCA-785 (leyenda verde), el pulso generado en la salida Q1(leyenda amarilla), pulso de salida generado por ambas salidas del TCA, observe que debido a la utilización de dos diodos, se eliminan la fase negativa de la señal (leyenda azul) y por último se aprecia el voltaje de sincronización que ingresa en el integrado para detectar el cruce por cero (leyenda roja).

Cabe señalar que los TRIAC son sensibles a las sobretensiones, a las sobre corrientes y en general a cualquier forma de transitorios, tanto en su magnitud como en su velocidad de variación. La aparición de sobretensiones o fuertes derivadas de tensión en los bornes del TRIAC puede ocasionar, entre otras consecuencias, la puesta en conducción indeseada del mismo e incluso su destrucción. Para esto se utiliza una red de Snubber para amortiguar la oscilación transitoria provocada por una carga inductiva. En el presente proyecto no es necesario implementar una red de Snubber ya que la carga no es inductiva sino resistiva, por lo tanto, se implementó sin ningún inconveniente el circuito recomendado en la hoja de datos proporcionada por el fabricante.



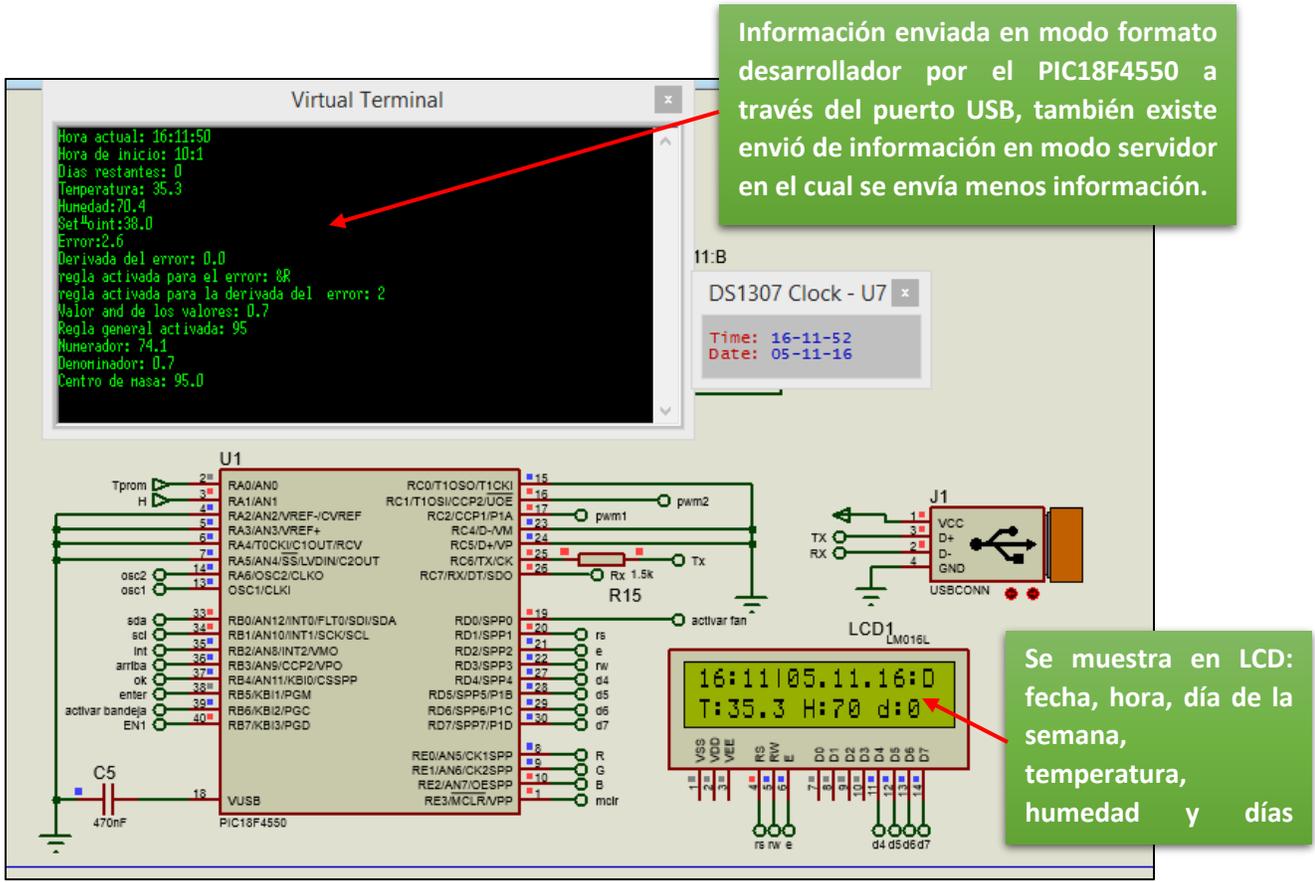
2.14: Circuito a simular TCA785. (Captura de pantalla).



2.15: Resultados simulación de TCA-785 y potencia. (Captura de pantalla).

#### 2.1.6.4 Simulación comunicación USB

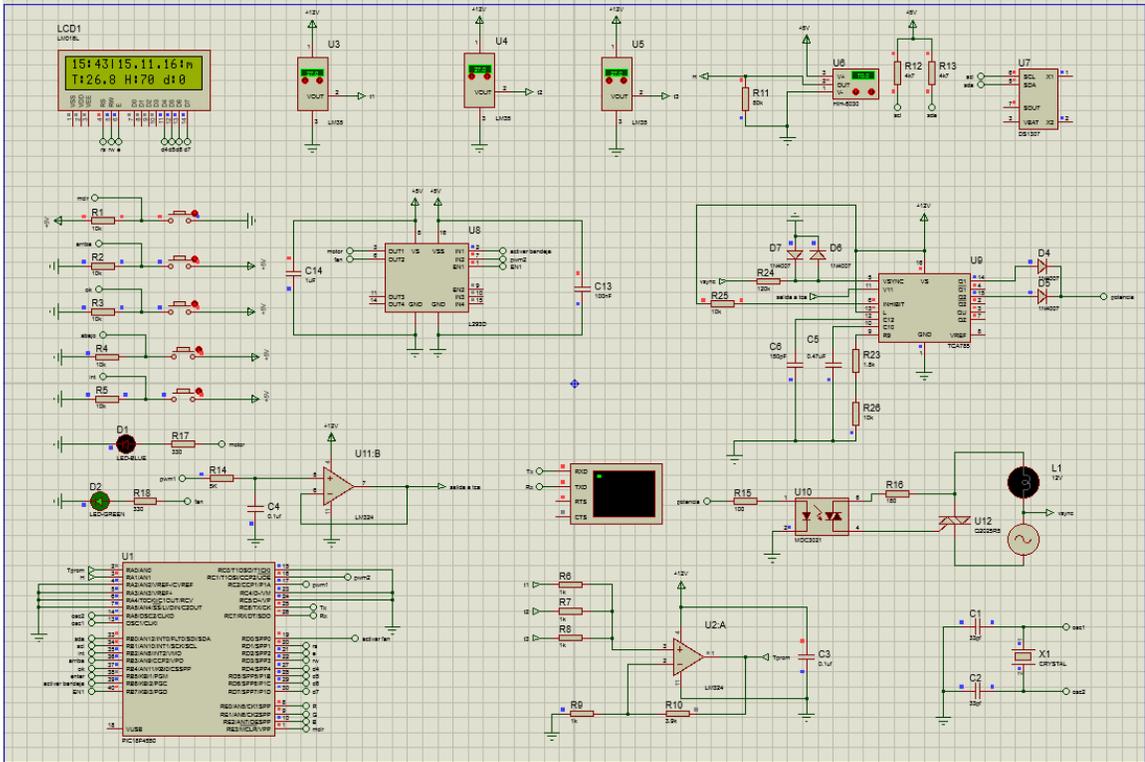
En la figura 2.17 se puede apreciar el funcionamiento correcto de la comunicación USB, los datos de control, así como las variables de interés (temperatura y humedad) se están transmitiendo de forma correcta.



2.16: Simulación comunicación USB. (Captura de pantalla)

### 2.1.6.5 Simulación del sistema completo

En la figura 2.18 se muestra el funcionamiento completo del sistema de incubación, salvo la simulación del ventilador, motor y resistencia térmica. Ya que, por el tamaño de la simulación, la carga computacional se vuelve demasiado para el CPU de una computadora común y no permite que arranque la simulación, así que esos componentes fueron probados directamente de forma física usando una tabla de nodos.



### Virtual Terminal

DS1307 Clock - U7

Time: 15-43-31  
Date: 15-11-16

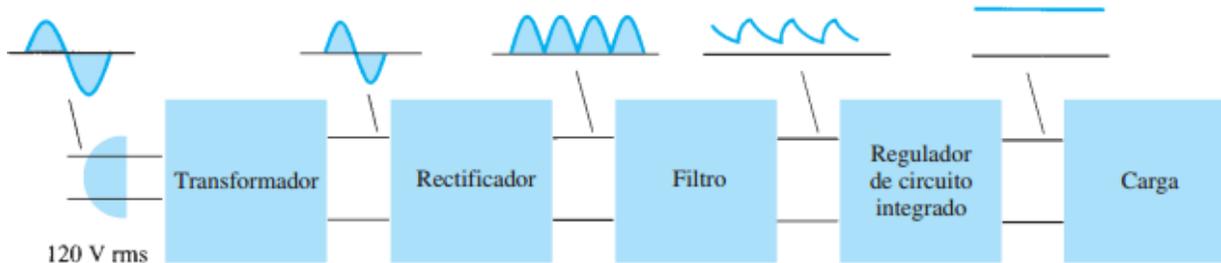
```

Hora actual: 15:43:30
Hora de inicio: 10:1
Dias restantes: 0
Temperatura: 26.8
Humedad:70.4
SetPoint:38.0
Error:11.1
Derivada del error: -11.1
regla activada para el error: 3
regla activada para la derivada del error: 1
Valor and de los valores: 0.0
Regla general activada: 255
Numerador: 0.0
Denominador: 0.0
Centro de masa: 0.0
          
```

2.17: Simulación general del sistema de incubación. (Captura de Pantalla)

## 2.2 Fuente de alimentación

Para dar una mejor noción del funcionamiento de la fuente de alimentación, observe la figura 2.19.



2.18: Funcionamiento de una fuente lineal. Tomado de Boylestad (2009)

El voltaje AC que para la alimentación comercial nicaragüense es de 120V rms, se conecta a un transformador, el cual reduce el nivel de tensión a un valor más tratable. Un rectificador de diodos proporciona entonces un voltaje rectificado de onda completa, el cual en principio se pasa por un filtro de capacitor sencillo para producir un voltaje DC. Este voltaje DC resultante casi siempre presenta algún rizo o variación de voltaje de AC. Un circuito regulador puede utilizar esta entrada DC para proporcionar un voltaje DC que no solo tenga mucho menos voltaje de rizo, sino también que permanezca con el mismo valor DC aun cuando el voltaje DC de entrada varié un poco, o que la carga conectada al voltaje DC de salida cambie. Esta regulación de voltaje normalmente se obtiene con uno de varios circuitos integrados reguladores de voltaje de gran uso.

Para el diseño de la fuente lineal se desean los siguientes requerimientos:

*Voltaje de salida*  $V_o = +5V \pm 0.1V$

*Corriente de salida*  $I_o = 1A$  limitados

*Temperatura máxima*,  $T_A < 80^\circ C$

Según los requerimientos, se ha seleccionado el regulador 7805C para el desarrollo de la fuente de alimentación.

Determinando los valores de componentes:

El voltaje de salida depende del voltaje de entrada y del número de espiras del primario y secundario, como la formula general lo plantea:

$$V_1 = V_2 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2} \quad (\text{Ec. 2. 4})$$

Por el primario y el secundario circulan corrientes distintas. La relación depende también del número de espiras, pero en sentido contrario:

$$I_2 = I_1 \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \quad (\text{Ec. 2. 5})$$

Esto nos sirve para conocer la corriente que deberá soportar el fusible que se conectó a la entrada del transformador. Por ejemplo, si se tiene un transformador de 24V y 3A, usando la ecuación 2.4 se tiene:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{120}{24} = 5$$

$$I_2 = I_1 (5)$$

$$I_1 = \frac{3A}{5} = 0.6A$$

Para asegurar que el fusible no saltará cuando no debe, se tomará un valor mayor al calculado, al menos un 30% mayor.

Luego se pasa a la etapa de rectificación en la cual se utilizará un rectificador tipo puente.

$$V_{max} = 24V\sqrt{2} - 1.4V \quad (\text{Ec. 2. 6})$$

$$V_{max} = 32.54V$$

El factor sugerido de rizado es del 5%.

$$f_r = \frac{V_{rrms}}{V_{DC}} * 100 \quad (\text{Ec. 2. 7})$$

$$V_{rrms} = \frac{5}{100} * V_{DC}$$

$$V_{rrms} = 0.05 * 24V = 1.2V$$

Con esto se puede calcular el valor de capacitancia necesaria para garantizar que el rizado no supere el 5%.

$$V_{rms} = \frac{2.4I_{cd}}{C} \quad (\text{Ec. 2. 8})$$

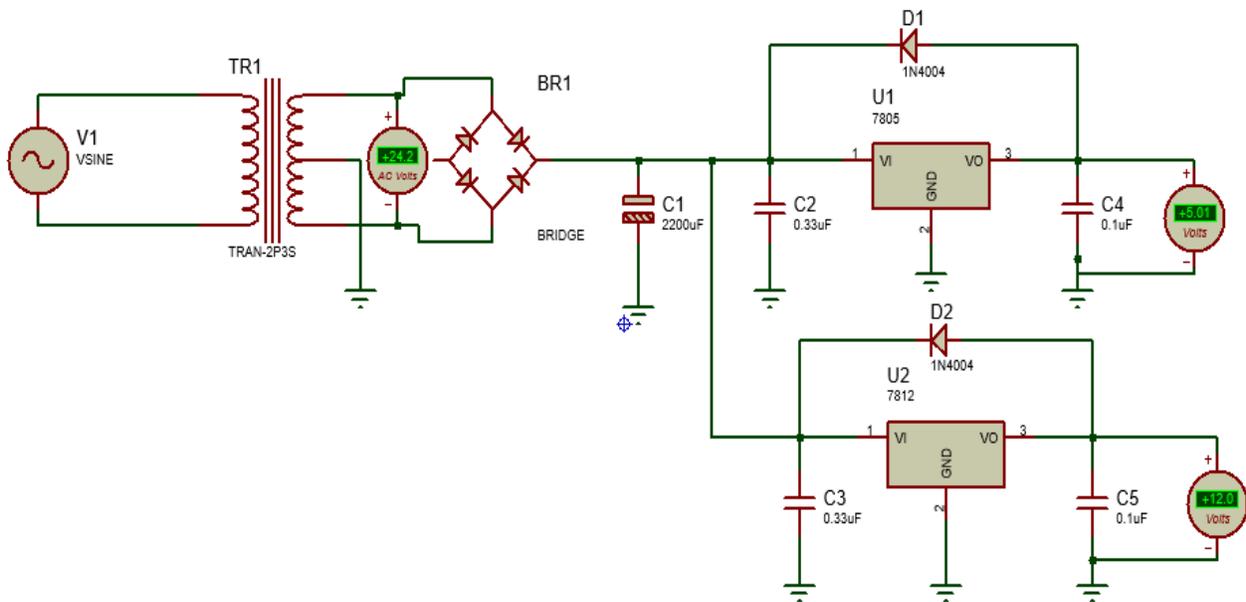
$$C = \frac{2.4I_{DC}}{V_{rms}} = \frac{2.4 * 1500}{1.2}$$

$$C = 3000\mu F$$

Si se desea reducir aún más el rizado se puede aumentar el valor de C. Aunque este presenta un inconveniente y es que entre más grande sea C, mayor será la corriente demandada por conducto de los diodos de rectificación. (Boylestad, 2009)

### 2.2.1 Simulación de la fuente de alimentación

Después de haber calculado los diferentes valores de voltaje y corriente. Se procede a comprobar el circuito en el simulador PROTEUS.



2.19: Simulación de fuente de alimentación. (Captura de pantalla)

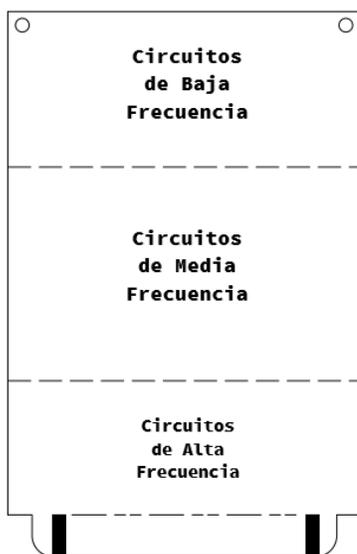
### 2.3 Implementación en circuitos impresos.

Para el diseño de los circuitos impresos se usó la herramienta ARES, perteneciente a la suite de PROTEUS. A lo largo del desarrollo de este prototipo de incubadora se produjeron diversos problemas en la implementación de los circuitos electrónicos, por mencionar algunos: error en la lectura de los sensores, caídas repentinas de la comunicación USB, reinicio del microcontrolador sin justificación aparente, entre otros.

Al revisar sobre los factores causantes de estos problemas se llegó a la conclusión que eran producidos por una mala distribución de la tierra en el circuito, así como una mala distribución de los componentes electrónicos, mezclando componentes eléctricamente muy ruidosos, con componentes sensibles al ruido eléctrico.

Para superar estos problemas en la implementación de los circuitos impresos se tomó en consideración la norma sobre el diseño estándar de circuitos impresos, IPC-2221A, así como algunas recomendaciones de diseño del especialista en diseño de PCB y control de EMI/CEM, el Dr. Bruce Archambeault.

En equipos algo complejos, se llega a clasificar las tierras por su funcionalidad como: tierra digital, tierra analógica, tierra de potencia, chasis, armario o caja metálica. Para el sistema de incubación artificial se han desarrollado dos circuitos



2. 20: Distribución de circuitos según norma IPC-2221A

impresos diferentes, uno para los circuitos digitales y otro para los circuitos analógicos, esto para evitar que las ruidosas señales digitales contaminen la integridad de las señales analógicas, por tanto, se ha dividido la tierra del sistema en tierra digital y tierra analógica, las cuales se unen en un único punto en la pista de alimentación, tal y como lo recomienda Archambeault (2008). Asimismo, internamente los componentes de cada pista han sido distribuidos según su velocidad de operación como lo indica la norma IPC-2221A (2003) en la figura 2.21.

Se sabe que para el diseñador electrónico la tierra es la referencia de tensión del circuito o camino de retorno de las corrientes, una mala distribución del tierra en la pista analógica o digital generará problemas al momento del retorno de las corrientes.

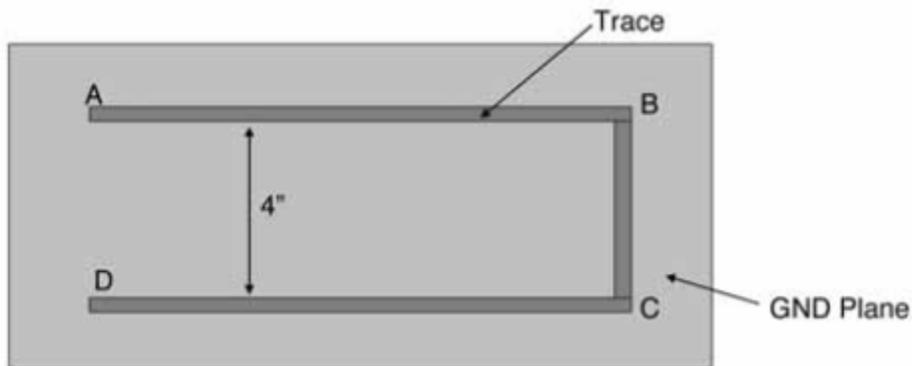
Según una publicación del año 2013 de la Revista Española de Electrónica, existente tres tipos de distribuciones de tierra:

- Tierra centralizada con conexión en serie: la conexión en serie es la más problemática desde el punto de vista de la CEM y para circuitos de alta frecuencia puede alcanzar valores de interferencia de hasta 300 mVpp, lo que puede ser perjudicial en la integridad de la señal de circuitos que operen en ese rango, tal y como es el caso de los sensores implementados en este proyecto. Este tipo de conexión solo debe ser usado para circuitos de baja frecuencia y de bajos valores de corriente. El efecto más nocivo de CEM es el conocido como efecto de acoplamiento por impedancias comunes.
- Tierra centralizada con conexión en paralelo o estrella: elimina los problemas de acoplamiento por impedancia común en el circuito de masa. Las tensiones de los diferentes puntos de masa no se ven afectadas por los demás circuitos. Este tipo de conexión es el más deseado para bajas frecuencias, pero es algo engorroso de llevar a cabo, es aconsejable en equipos con muchos puntos de tierra por conectar, no es bueno para alta frecuencia y se recomienda encarecidamente que la longitud de las pistas no exceda  $1/20$  de la longitud de onda de la señal.
- Tierra distribuida o multipunto: se usa a altas frecuencias para minimizar al máximo la impedancia de tierra, se usa un plano de tierra alrededor de los componentes electrónicos y en muy alta frecuencia se recomienda que la longitud entre la conexión del integrado y el plano de tierra sea menor de 2cm.

Debido a las características y frecuencia de operación del sistema de incubación se trabajó con un plano de tierra, o tierra distribuida.

Archambeault (2008) explica en su artículo que la corriente siempre va a seguir el camino de menor impedancia, a frecuencias bajas esto quiere decir el trayecto con menor resistencia, y a frecuencias altas quiere decir el trayecto de menor inductancia.

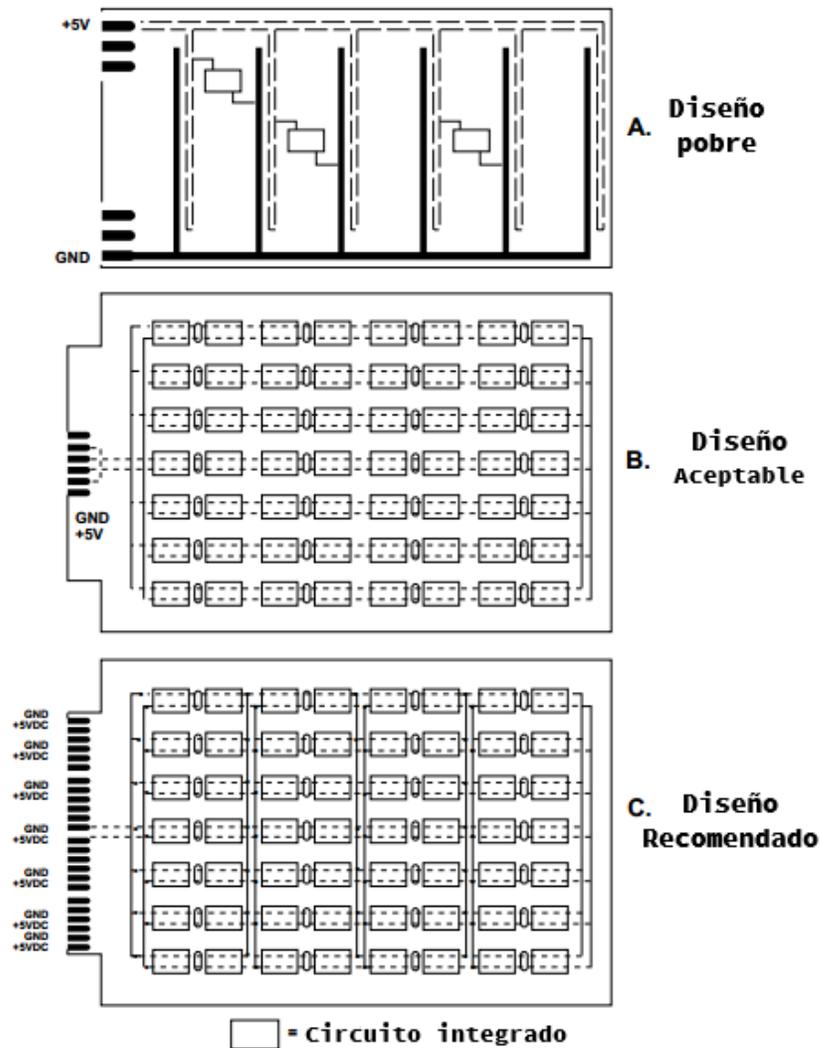
Usando la figura 2.22, Archambeault (2008) explica que a baja frecuencia el retorno de la corriente se realizará de manera directa a través del plano de tierra ya que es el que presenta menor resistencia. Pero en alta frecuencia, el camino de menor inductancia es el de la traza de cobre y el retorno de la señal será por debajo de esta traza. Confinando así a las ruidosas señales digitales de alta frecuencia a las trazas de cobre y separando el camino de retorno de las señales de baja frecuencia, típicamente analógicas, al plano de tierra.



2.21: Geometría física para ejemplificar el retorno de señal según su frecuencia.  
Tomado de Archambeault (2008)

Archambeault (2008) recomienda el uso de tierra distribuida ya que la frecuencia donde la inductancia comienza a dominar por sobre la resistencia es muy baja, típicamente en los valores más bajos en el rango de los KHz.

En la figura 2.23 se muestra el tipo de diseño de tierra multipunto o plano de tierra como el más preferido, según la norma IPC-2221A (2003).

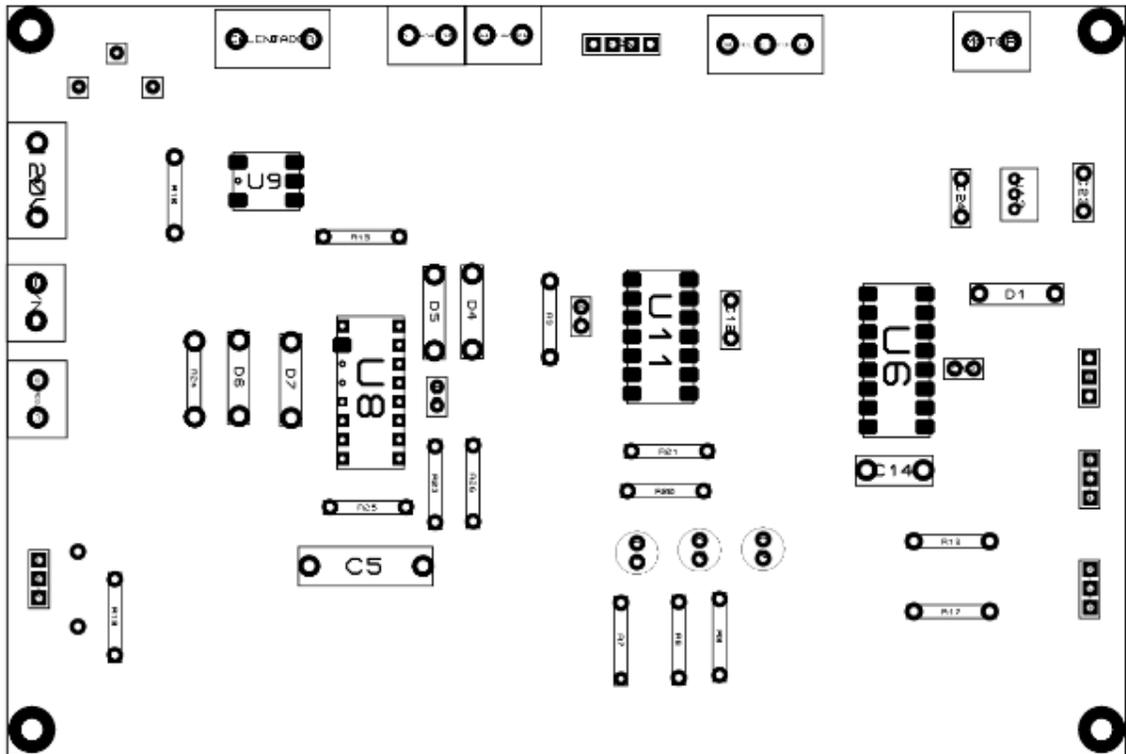
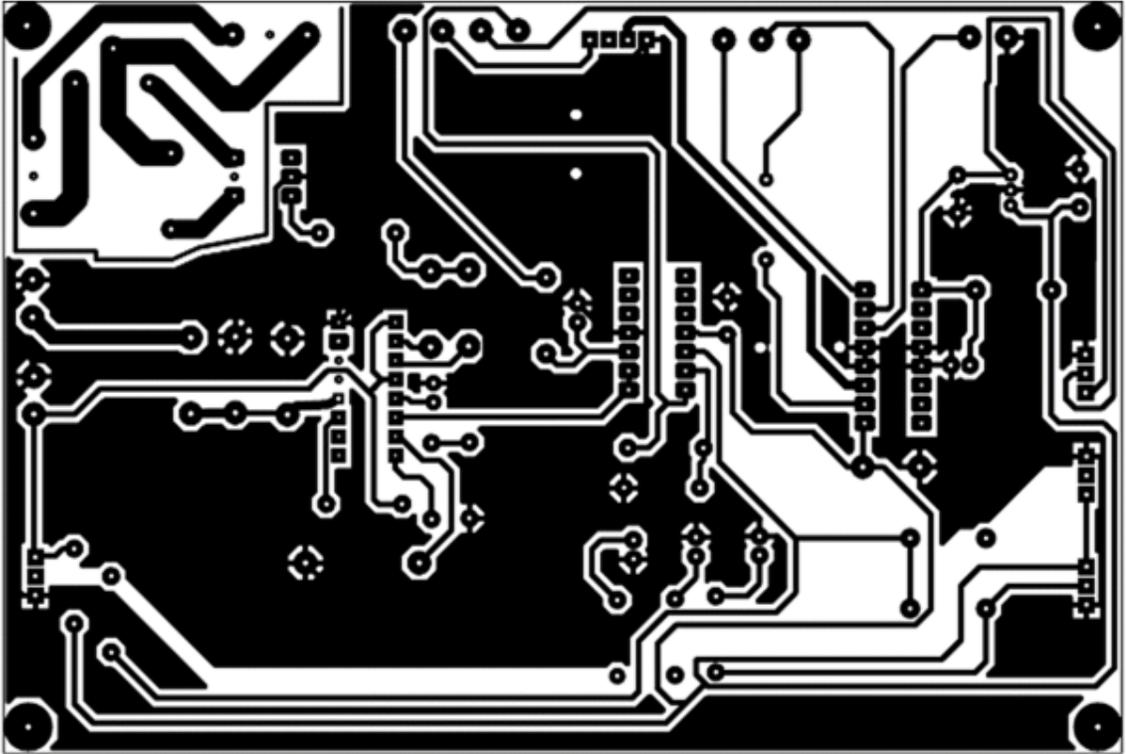


2. 22: Distribución de GND según IPC-2221A.  
Tomado de IPC-2221A (2003).

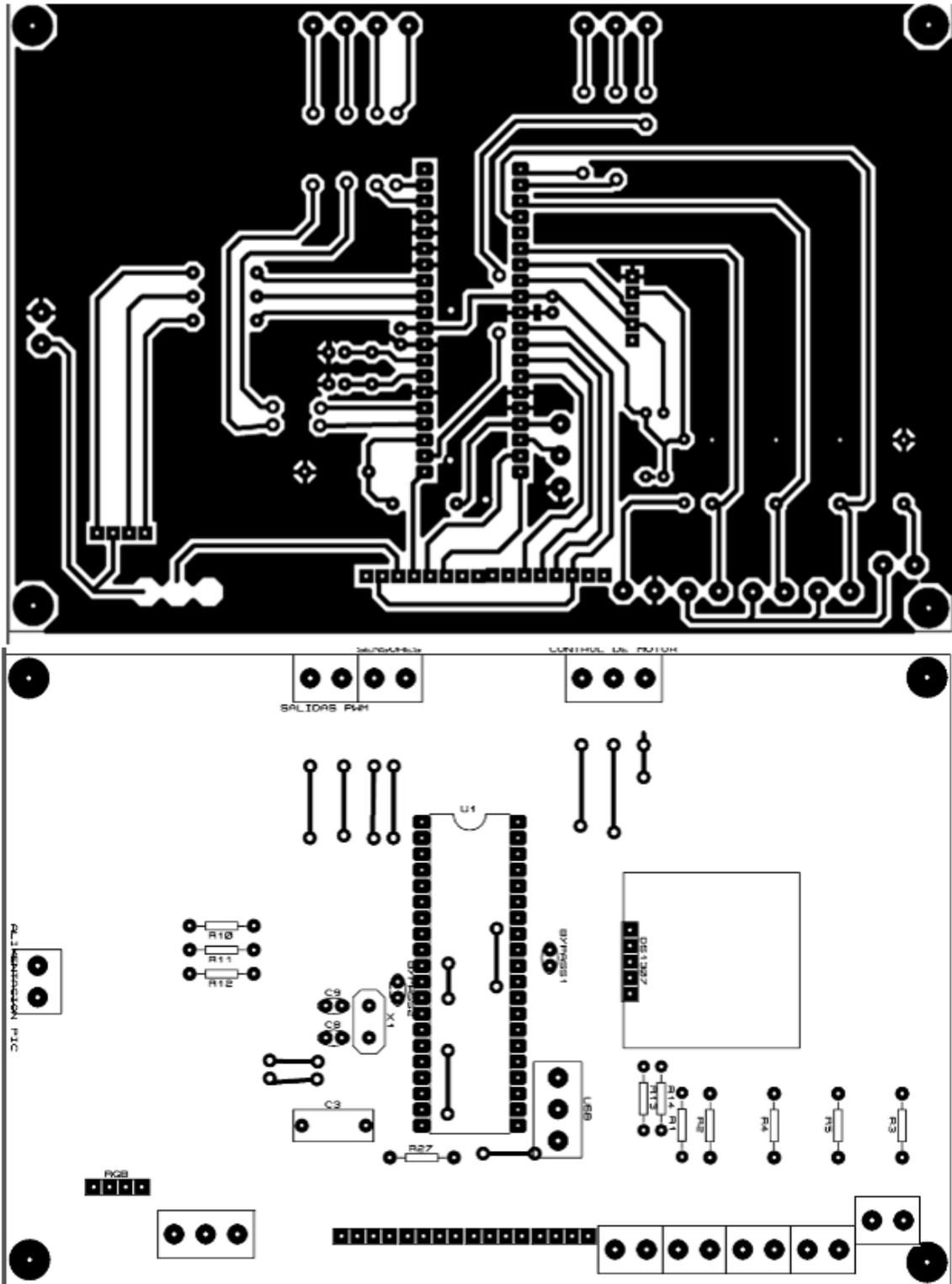
Además de las consideraciones tomadas anteriormente también se implementaron las siguientes recomendaciones presentes también en la norma IPC-2221A (2003):

- Uso de capacitores de acople, colocados lo más próximo a la alimentación de los integrados.
- Implementación de los filtros recomendados en la hoja de datos de los sensores.
- Conexión de tierra física al chasis de la incubadora para reducir interferencia electromagnética del exterior.

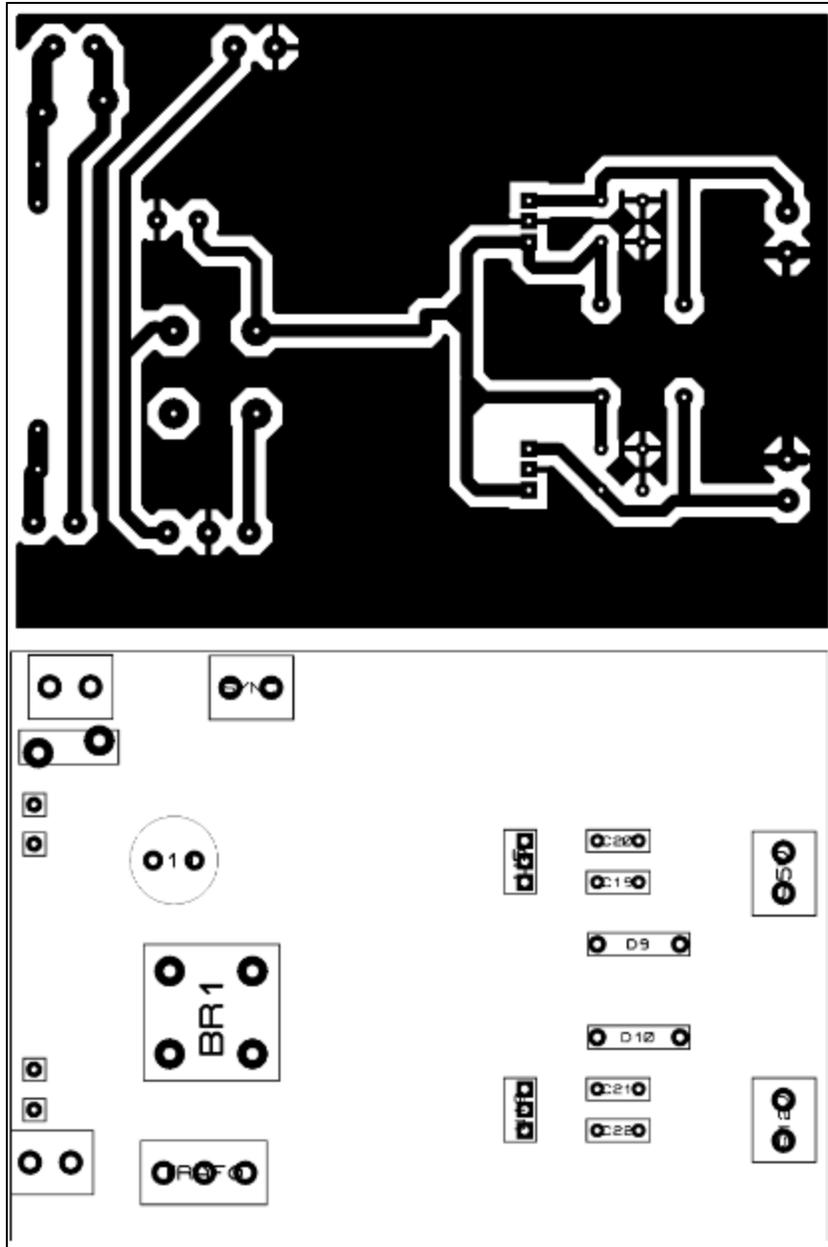
En las figuras 2.24, 2.25 y 2.26 se muestra el diseño terminado de las pistas del sistema de incubación artificial.



2.23: Pistas Analógicas. (Captura de Pantalla)



2.24: Pistas digitales. (Captura de pantalla)



2.25: Pistas, fuente de alimentación. (Captura de pantalla)

## 2.4 Lógica Difusa

En esta sección se describen los fundamentos teóricos matemáticos asociados al controlador difuso implementado en el sistema de incubación artificial.

### 2.4.1 Conceptos básicos

#### Variable lingüística

Las variables de entrada del sistema de incubación artificial son: el error de temperatura y la derivada del error. El error de temperatura no es más que la diferencia entre el valor deseado y el valor leído de temperatura, en cambio la derivada del error es la diferencia entre la lectura actual de la temperatura y la lectura anterior. Y la variable de salida un voltaje por modulación de ancho de pulso (PWM) que será aplicado a un driver de potencia el cual controlará el ángulo de disparo de una resistencia eléctrica.

Teniendo esto en cuenta, se considera que las variables lingüísticas para el controlador difuso serán las siguientes: error (de temperatura), derivada del error (de temperatura), humedad y voltaje de salida.

#### Conjuntos Difusos

Cada una de estas variables lingüísticas tendrá en un universo de discurso, el cual tendrá 5 conjuntos difusos. Para el caso del error (de temperatura) el universo de discurso será entre -15 y 15 grados Celsius, esto debido a que al inicio del proceso de incubación la temperatura es la temperatura ambiente, la cual ronda por aproximadamente 30°C. Calculando el error mediante la ecuación 2.9, se tiene:

$$error = valor_{deseado} - valor_{leido} \quad (Ec. 2. 9)$$

$$error = 37.8 - 30$$

$$error = 7.8$$

Para la derivada del error el universo de discurso es de -1.5 y 1.5 grados Celsius. Y se obtuvo mediante la ecuación 2.10.

$$\text{cambio de temperatura} = \text{valor anterior} - \text{valor actual} \quad (\text{Ec. 2. 10})$$

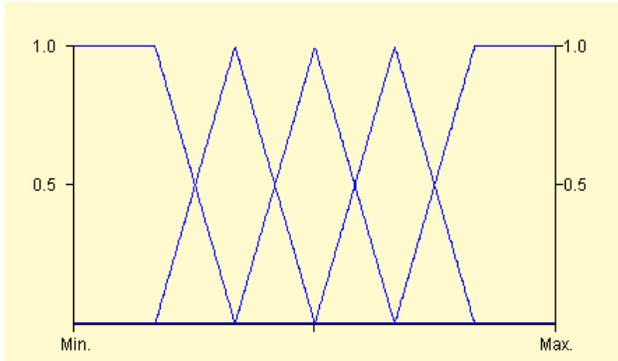
La temperatura no es una variable que cambia drásticamente en un lapso corto de tiempo, se comprobó experimentalmente que la temperatura en el recinto de incubación ascendía a razón de 1°C cada 5 minutos.

La humedad es una variable que de igual manera cambia de manera lenta. Además, en países tropicales como Nicaragua, la humedad relativa habitual está en el rango de 45% y el 60% por lo que es la que menos control necesita al momento del proceso de incubación. Su universo de discurso va desde 0% y 100%. Los conjuntos difusos para cada una de las variables lingüísticas se muestran en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Variables lingüísticas y conjuntos difusos

Variable lingüística	Conjuntos difusos	Universo de Discurso	
		Límite inferior	Límite superior
<b>Error</b>	Error muy negativo	$-\infty$	-7.5
	Error negativo	-15	0
	Error cercano a cero	-7.5	7.5
	Error positivo	0	15
	Error muy positivo	7.5	$\infty$
<b>Derivada del error</b>	Cambio muy negativo	$-\infty$	-0.5
	Cambio negativo	-1.5	0
	Cambio cercano a cero	-0.75	0.75
	Cambio positivo	0	1.5
	Cambio muy positivo	0.75	$\infty$

Definidas las variables lingüísticas y los conjuntos difusos del universo en discurso, queda definir el modelo a seguir para las funciones de pertenencia de cada conjunto difuso. En este caso se ha decidido utilizar las funciones de pertenencia triangular y la función trapezoidal por su facilidad de implementación.



2.26: Funciones de transferencia triangular y trapezoidal usadas

### 2.4.2 Controlador Difuso.

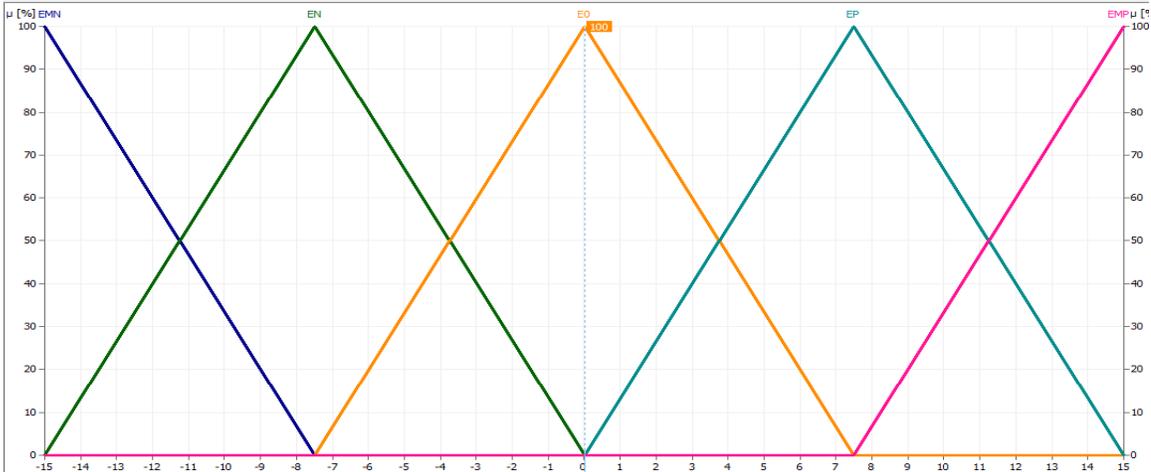
Para el desarrollo del modelo difuso se ha utilizado software fuzzyTECH en su versión de evaluación.

#### Fusificación

La Fusificación tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos. En la Fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

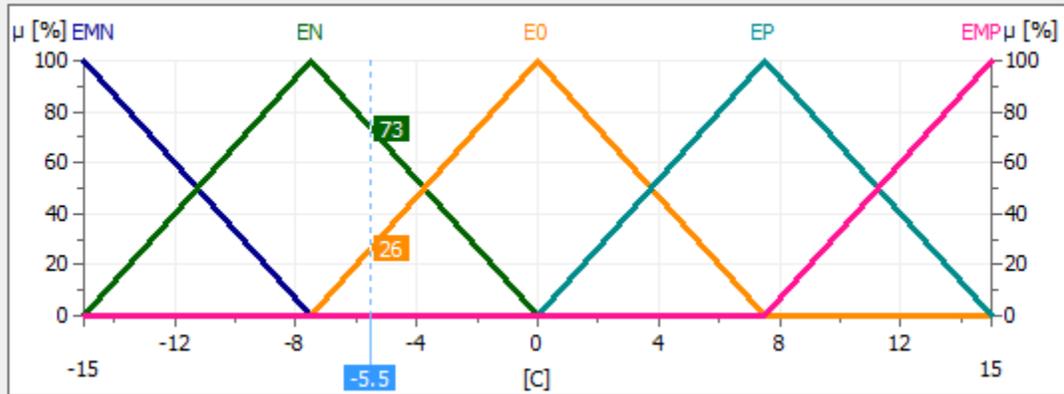
Para efectos de mejor entendimiento se plantea el siguiente ejemplo:

Se tiene un Universo de discurso de 30 unidades. A este universo de discurso se le asignan diferentes conjuntos difusos los cuales poseen rangos simétricos mostrados en la tabla 2.8, esto para ayudar a disminuir los cálculos matemáticos necesarios en el controlador. Véase la figura 2.28.

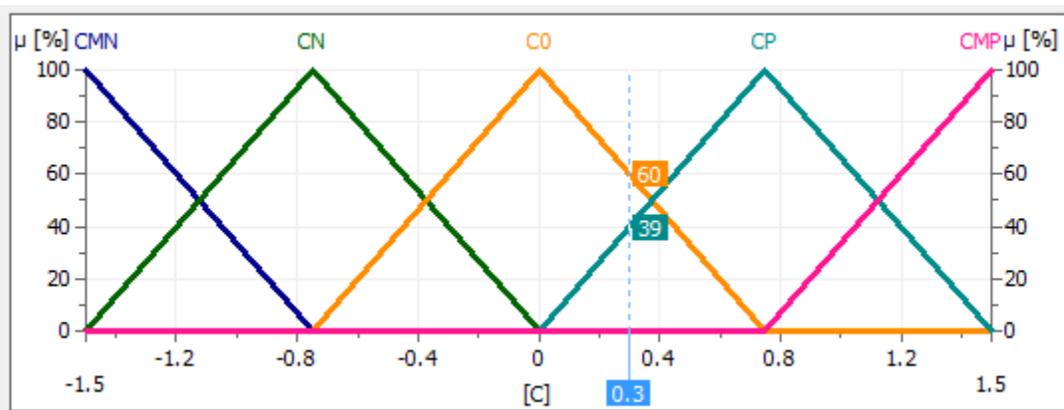


2.27: Rango de discurso difuso

Ahora suponiendo que la variable de entrada para el error es -5.5. Este valor al ingresar al proceso de Fusificación se evalúa para así designar a que conjunto o conjuntos difusos pertenece. Como se puede apreciar en la figura 2.29. Este valor se sitúa entre dos conjuntos, por tanto, se le asigna un valor de pertenencia para cada uno de los conjuntos implicados. Para este caso tendrá un valor de pertenencia para el conjunto difuso “EN” y de 0.26 para el conjunto difuso “E0”. Por tanto, se puede decir que el error de temperatura es mayormente negativo y levemente cercano a cero. La Fusificación es el primer paso en el cálculo de un sistema difuso y debe ser realizado para cada una de las variables de entrada, es decir, este mismo proceso se repite para la entrada de derivada del error (Figura 2.30), donde se ingresa al proceso de Fusificación un valor de derivada del error 0.3 y tiene pertenencia de 0.39 para el conjunto difuso CP y 0.60 para el conjunto difuso C0. Estos resultados serán utilizados como entradas para las reglas difusas.



2.28: Fusificación del error



2.29: Fusificación derivada del error

### Base de reglas

Una vez obtenidos cada uno de los valores de pertenencia para cada valor real de un conjunto difuso se debe de hacer una relación entre cada una de las variables lingüísticas y así derivar una acción a partir de las entradas. La producción de reglas consiste de una condición (SI) y una conclusión (ENTONCES). La parte SI puede consistir de una o más precondiciones vinculadas por una conjunción lingüística como las operaciones AND y OR.

La base de reglas seleccionada se muestra en la tabla 2.9. Esta base fue creada probando experimentalmente el sistema de incubación artificial.

Tabla 2.9: Reglas difusas

	EMN	EN	E0	EP	EMP
CMN	VMB	VMB	VB	VM	VA
CN	VB	VM	VM	VA	VA
C0	VM	VM	VM	VA	VA
CP	VA	VA	VM	VA	VA
CMP	VMA	VMA	VA	VA	VA

### Proceso de inferencia

El proceso de inferencia está condicionado por medio de reglas **si-entonces**. Siguiendo con el ejemplo se tiene que: Si *EN* (error negativo) y *C0* (derivada del error casi cero) entonces el *voltaje de salida será medio*. Teniendo esto en cuenta, la conjunción será representada por el operador del mínimo (MIN). En este caso la validación de la condición completa será calculada de la siguiente manera:

*Grado de verdad de la condicion = Grado de verdad ("Error" = negativo),*

*Grado de verdad("Derivada del error" = casi cero)*

$$\text{MIN}(A, B) : \mu_A \cap B(x) = \text{MIN}[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (\text{Ec. 2. 11})$$

Evaluación del mínimo de la condición completa:

$$\text{MIN}(0.73, 0.60) = 0.60$$

El proceso es el mismo para cada una de las condiciones completas anteriormente obtenidas.

Si *EN* (error negativo) y *CP* (derivada del error positiva) entonces el *voltaje de salida será Alto*

$$\text{MIN}(0.73, 0.39) = 0.39$$

Si *EN* (error casi cero) y *C0* (derivada del error casi cero) entonces el *voltaje de salida será Alto*.

$$\text{MIN}(0.26, 0.60) = 0.26$$

Si *EN* (error casi cero) y *CP* (derivada del error positiva) entonces el *voltaje de salida será Alto*.

$$\text{MIN}(0.26, 0.39) = 0.26$$

Luego de haber hecho los cálculos de los mínimos se analizarán los resultados, los cuales demuestran que el grado de verdad (o pertenencia) para el conjunto difuso de salida de voltaje Alto es de 0.39 y 0.26. Por tanto, se usará la evaluación del máximo para el conjunto de Voltaje Alto.

$$\text{MAX}(A, B) : \mu_{A \cup B}(x) = \text{MAX}[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (\text{Ec. 2. 12})$$

$$\text{MAX}(0.26, 0.39) = 0.39$$

Para el conjunto de salida Voltaje Medio no es necesario realizar el cálculo del máximo ya que es el único valor que posee dicho conjunto, por tanto, este será 0.60. Estos datos se comprobaron mediante el software FuzzyTech, anteriormente descrito, y el resultado es mostrado en la figura 2.31.

El recuadro de color verde indica el grado de pertenencia del conjunto de salida de *voltaje medio*, mientras que los recuadros de color naranja reflejan los diferentes grados de pertenencia para el conjunto difuso *voltaje alto*.

Incubadora	Error: -5.5	Derivada_de_error: 0.3		Voltaje: 153.005
	Error.muy_negativo	Derivada_de_error.muy_negativo	=>	Voltaje.muy_baj
	Error.muy_negativo	Derivada_de_error.negativo	=>	Voltaje.bajo
	Error.muy_negativo	Derivada_de_error.casi_cero	=>	Voltaje.medio
	Error.muy_negativo	Derivada_de_error.positivo	=>	Voltaje.alto
	Error.muy_negativo	Derivada_de_error.muy_positivo	=>	Voltaje.muy_alto
	Error.negativo	Derivada_de_error.muy_negativo	=>	Voltaje.muy_baj
	Error.negativo	Derivada_de_error.negativo	=>	Voltaje.medio
	Error.negativo	Derivada_de_error.casi_cero	=>	Voltaje.medio
	Error.negativo	Derivada_de_error.positivo	=>	Voltaje.alto
	Error.negativo	Derivada_de_error.muy_positivo	=>	Voltaje.muy_alto
	Error.casi_cero	Derivada_de_error.muy_negativo	=>	Voltaje.bajo
	Error.casi_cero	Derivada_de_error.negativo	=>	Voltaje.medio
	Error.casi_cero	Derivada_de_error.casi_cero	=>	Voltaje.alto
	Error.casi_cero	Derivada_de_error.positivo	=>	Voltaje.alto
	Error.casi_cero	Derivada_de_error.muy_positivo	=>	Voltaje.muy_alto
	Error.positivo	Derivada_de_error.muy_negativo	=>	Voltaje.bajo
	Error.positivo	Derivada_de_error.negativo	=>	Voltaje.alto
	Error.positivo	Derivada_de_error.casi_cero	=>	Voltaje.alto
	Error.positivo	Derivada_de_error.positivo	=>	Voltaje.alto
	Error.positivo	Derivada_de_error.muy_positivo	=>	Voltaje.alto
	Error.muy_positivo	Derivada_de_error.muy_negativo	=>	Voltaje.bajo
	Error.muy_positivo	Derivada_de_error.negativo	=>	Voltaje.alto

2.30: Proceso de Inferencia

## Defusificación

Los resultados de las evaluaciones previas en el proceso de inferencia son por supuesto, difusas ya que solo se ha obtenido el grado de pertenencia de las variables de salida los cuales son Voltaje Medio y Voltaje Alto. Naturalmente, el dispositivo de calefacción no puede interpretar dichos valores de pertenencia. Por eso, es necesario convertir estas salidas difusas en un valor de salida real, a esta conversión se le llama defusificación y puede ser realizada por diferentes métodos. El sistema de incubación artificial usa el método de centro de masa, esto debido a que este es el mayormente utilizado en sistemas difusos y es computacionalmente eficiente.

Usando el método de centro de masa se integra algebraicamente el conjunto difuso de salida mediante la ecuación 2.13.

$$u_{crisp} = \frac{\sum_i b_i \int u(i)}{\sum_i \int u(i)} \quad (\text{Ec. 2. 13})$$

Es muy fácil poder calcular  $\int u(i)$ , si se tienen conjuntos de salida triangulares simétricos. Solamente es necesario el ancho total de la base  $\omega$  de cada uno de los triángulos de los conjuntos difusos y la altura en la cual el triángulo es cortado, dando como resultado la ecuación 2.14.

$$\int u(i) = \omega \left( h - \frac{h^2}{2} \right) \quad (\text{Ec. 2. 14})$$

Los valores son los siguientes:

$h_1 = 0.60$  → Altura a la que es cortado el triángulo del conjunto “voltaje medio”

$h_2 = 0.39$  → Altura a la que es cortado el triángulo del conjunto “voltaje medio”

$\omega = 64$  → Ancho total de cada triángulo

$$\int u(i) = 64 * \left( 0.60 - \frac{0.60^2}{2} \right) = 26.88$$

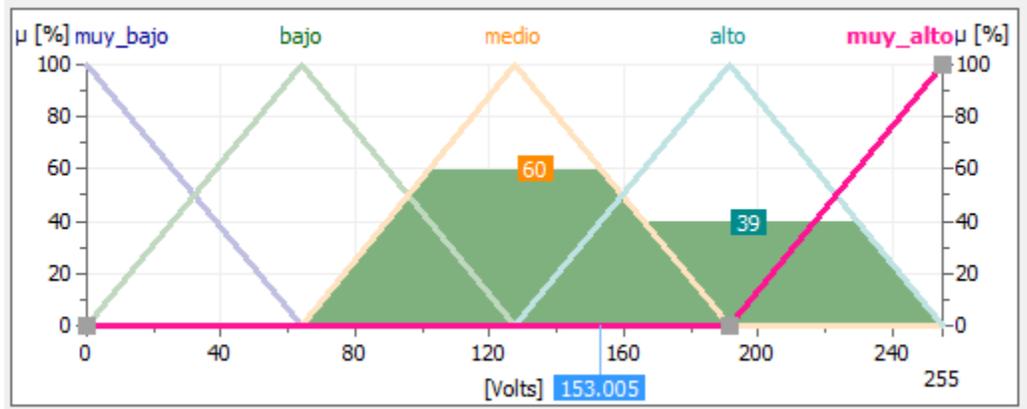
$$\int u(i) = 64 * \left( 0.39 - \frac{0.39^2}{2} \right) = 20.09$$

Ahora solo queda calcular la salida.

$$u_{crisp} = \frac{(128)(26.88) + (192 * 20.09)}{26.88 + 20.09}$$

$$u_{crisp} = 152.87$$

El cálculo anterior se ha comprobado mediante software y se obtiene el valor de voltaje PWM de 153 mostrado en la figura 2.32, para los valores de entradas anteriormente descritos en las figuras 2.29 y 2.30.



2.31: Defusificación

## 2.5 Monitoreo Remoto

En esta sección se describe la tecnología implementada para el desarrollo del sistema de monitoreo de la incubadora.

### 2.5.1 Sistema Operativo Host

A como se mencionó en la sección 1.8.1, para la implementación del servidor web se ha optado por trabajar con Linux, propiamente se ha escogido la distribución más popular de Linux desde hace algunos años como es Ubuntu.

Ubuntu está orientado al usuario promedio, con un fuerte enfoque en la facilidad de uso y en mejorar la experiencia del usuario. Estadísticas sugieren que la cuota de mercado de Ubuntu de las distribuciones Linux es, aproximadamente, del 49% según Wikipedia (2016) y con una tendencia a aumentar como servidor web. Es por tal razón y por su amplia documentación disponible casi en cualquier lugar que para la aplicación del servidor del sistema de incubación se usó la versión servidor de Ubuntu, o lo que es lo mismo Ubuntu 16.04.1 LTS, a como se muestra en la figura 2.33.

```
root@incubadora:/home/monografia# cat /etc/issue
Ubuntu 16.04 LTS \n \l
```

2.32: Versión de Ubuntu instalada, Ubuntu 16.04 LTS.

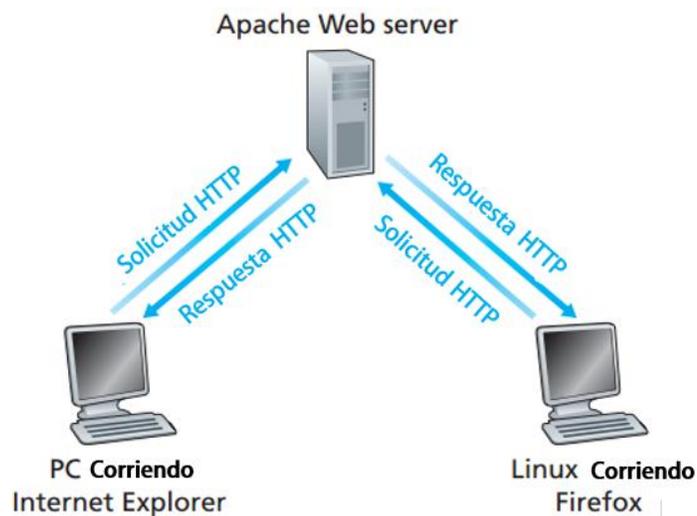
### 2.5.2 Servidor WEB

El protocolo de transferencia de hipertexto (HTTP, HyperText Transfer Protocol) es el protocolo de la capa de aplicación de la Web y se encuentra en el corazón de la Web. Está definido en los documentos [RFC 1945] y [RFC 2616]. HTTP se implementa en dos programas: un programa cliente y un programa servidor. El programa cliente y el programa servidor, se ejecutan en terminales diferentes y se comunican entre sí intercambiando mensajes HTTP.

Los navegadores web (p. ej. Chrome, Internet Explorer, Firefox) implementan el lado del cliente y los servidores web implementan el lado del servidor HTTP, entre

los servidores web más populares están APACHE con casi un 70% de cuota de mercado, según Wikipedia (2016), y Microsoft Internet Server. En este proyecto se ha usado APACHE Server, porque es gratuito, cuenta con una amplia documentación que se puede encontrar casi en cualquier sitio, además que ya viene instalado por defecto en la distribución de Ubuntu Server.

La idea general de como HTTP define como los clientes web solicitan programas web a los servidores web y como estos servidores transfieren esas páginas web a los clientes, se muestra en la figura 2.34.



2.33: Comportamiento de solicitud-respuesta de HTTP.  
Tomado de Kurose (2013)

### 2.5.2.1 Apache

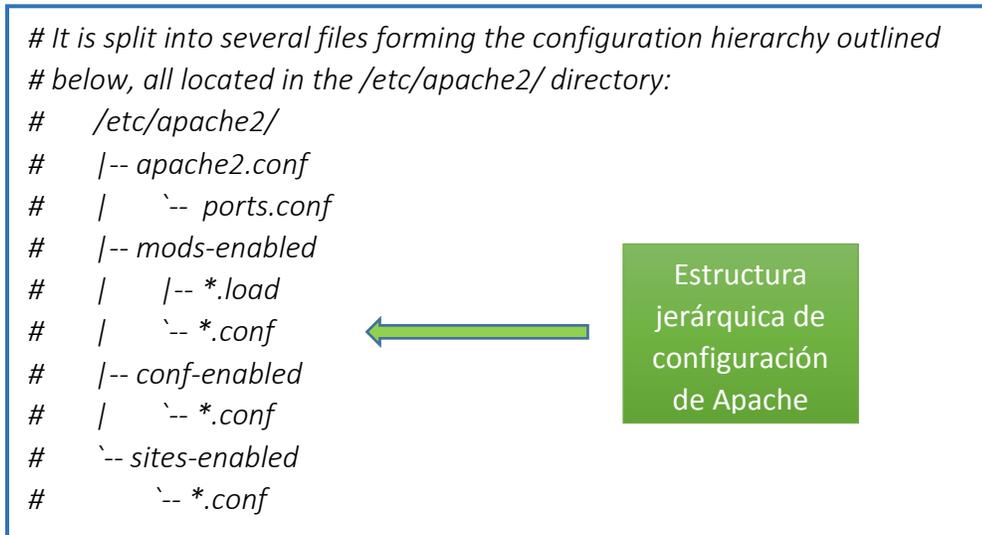
El proyecto de servidor HTTP Apache es un esfuerzo para desarrollar y mantener un servidor HTTP de código abierto para sistemas operativos modernos incluyendo UNIX y Windows. El objetivo del proyecto Apache es proporcionar un servidor seguro y eficiente con los estándares HTTP actuales.

El proyecto de servidor HTTP Apache fue lanzado por primera vez en 1995 y ha sido el servidor web más popular de internet desde abril de 1996.

La versión de Apache utilizada para la implementación del sistema de monitoreo es la mostrada en la figura 2.35, la cual fue una de las últimas versiones del



Para realizar la configuración de Apache, se debe modificar su archivo principal de configuración, el **apache2.conf**, ubicado en *etc/apache2/*. Apache trabaja de forma jerárquica a como se muestra en la figura 2.37.

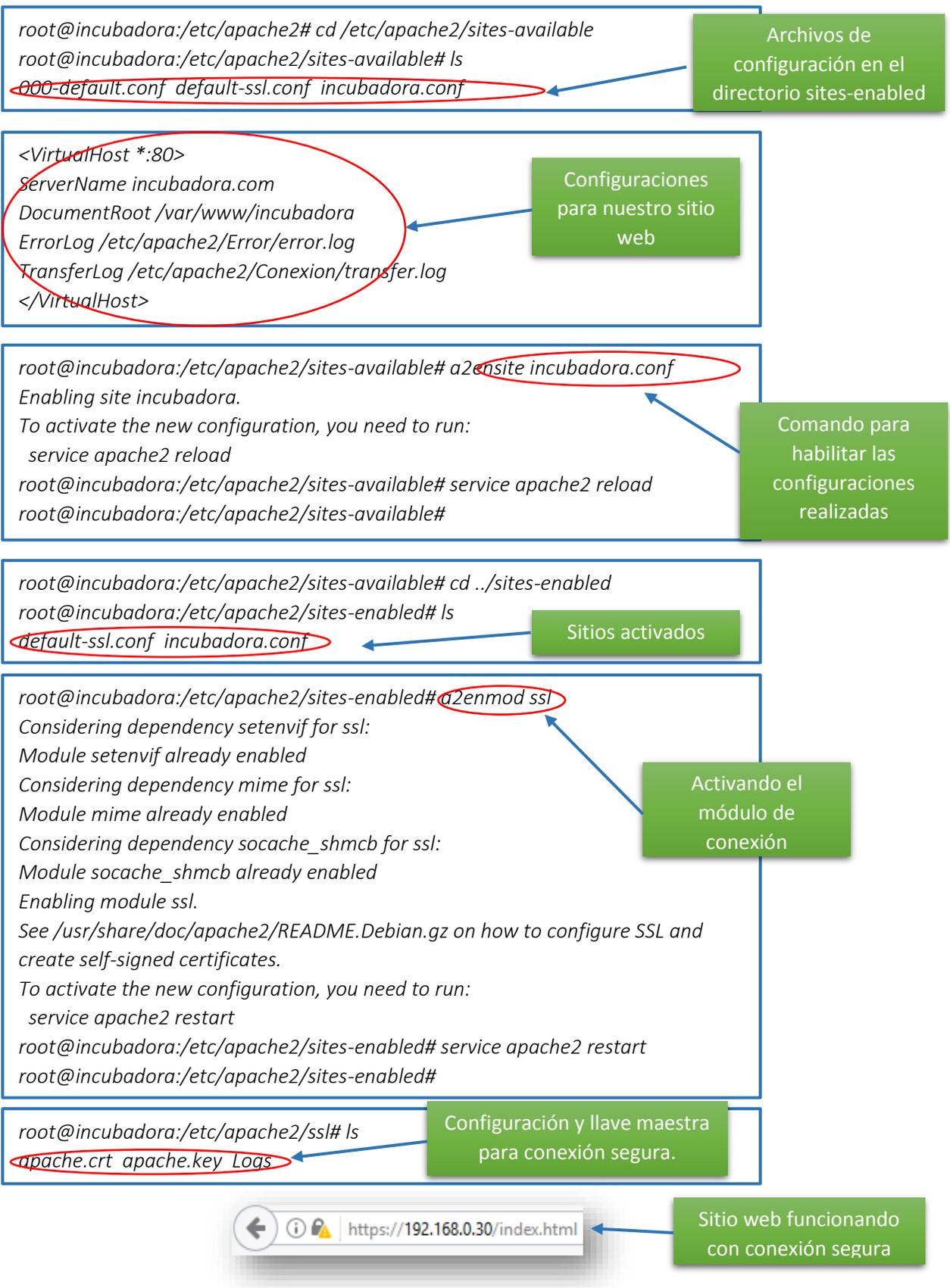


2.36: Archivo principal de configuración, *apache2.conf*.

**Apache2.conf:** Pone las piezas juntas al incluir los ficheros de configuración restantes al momento de la inicialización del servidor web.

**Ports.conf:** siempre se incluye en el archivo principal de configuración, determina que puertos “escuchar” para conexiones entrantes, los cuales pueden ser personalizados en cualquier momento.

**Mods-enabled/conf-enabled/sites-enabled:** Los archivos de configuración en estos directorios contienen fragmentos particulares de configuración que manejan módulos, fragmentos de configuraciones globales, o configuraciones de host virtuales. Estos módulos de configuración se activan al establecer enlaces simbólicos en los archivos de configuración disponibles en sus contrapartes con formato *\*-available/*. Estos enlaces simbólicos y configuraciones son fácilmente activados mediante el uso de comandos especiales de Apache2 como *a2enmod/a2dismod*, *a2ensite/a2dissite* y *a2enconf/a2disconf*. En la figura 2.38 se muestra la configuración más básica de estos archivos para la activación de sitio web del sistema de incubación artificial.



2.37: Configuraciones básicas para habilitar el sitio web.

### 2.5.3 Servidor DNS

Existen dos formas de identificar un “host”, mediante un nombre de “host” o mediante una dirección IP. Las personas prefieren utilizar como identificador el nombre de host (más fácil de recordar), mientras que los routers prefieren emplear direcciones IP de longitud fija y que siguen una estructura jerárquica. Para reconciliar estas diferencias se necesita un servicio de directorio que traduzca los nombres de host en direcciones IP. Esta es la tarea principal que lleva a cabo el Sistema de Nombres de Dominio (DNS, Domain Name System). DNS es una base de datos distribuida implementada en una jerarquía de servidores DNS y un protocolo de la capa de aplicación que permite a los hosts consultar la base de datos distribuida. Los servidores DNS suelen ser máquinas UNIX que ejecutan el software BIND (Berkeley Internet Name Domain, Dominio de nombres de Internet de Berkeley). El protocolo DNS se ejecuta sobre UDP y utiliza el puerto 53.

El protocolo HTTP emplea habitualmente DNS para traducir los nombres de hosts suministrados por el usuario en direcciones IP. Por ejemplo, cuando un navegador (cliente HTTP), que se ejecuta en un determinado host de usuario, solicita el URL de sitio web del sistema de incubación artificial; [www.incubadora.com/index.html](http://www.incubadora.com/index.html). Para que el host del usuario pueda enviar un mensaje de solicitud HTTP al servidor web [www.incubadora.com](http://www.incubadora.com), el host del usuario debe obtener en primer lugar la dirección IP de [www.incubadora.com](http://www.incubadora.com). Esto se hace del siguiente modo:

1. La propia máquina cliente ejecuta el lado del cliente de la aplicación DNS.
2. El navegador extrae el nombre de host, [www.incubadora.com](http://www.incubadora.com), del URL y pasa el nombre de host al lado del cliente de la aplicación DNS.
3. El cliente DNS envía una consulta que contiene el nombre de host a un servidor DNS.
4. El cliente DNS recibe finalmente una respuesta, que incluye la dirección IP correspondiente al nombre del host.
5. Una vez que el navegador recibe la dirección IP del servidor DNS, puede iniciar una conexión TCP con el proceso servidor HTTP localizado en el puerto 80 de esa dirección IP.

### 2.5.3.1 Bind9

BIND (Berkeley Internet Name Domain) es un software de código abierto que implementa el protocolo DNS para el internet. BIND es el servidor DNS más comúnmente usado en internet, especialmente en sistemas UNIX, en los cuales es un estándar de facto.

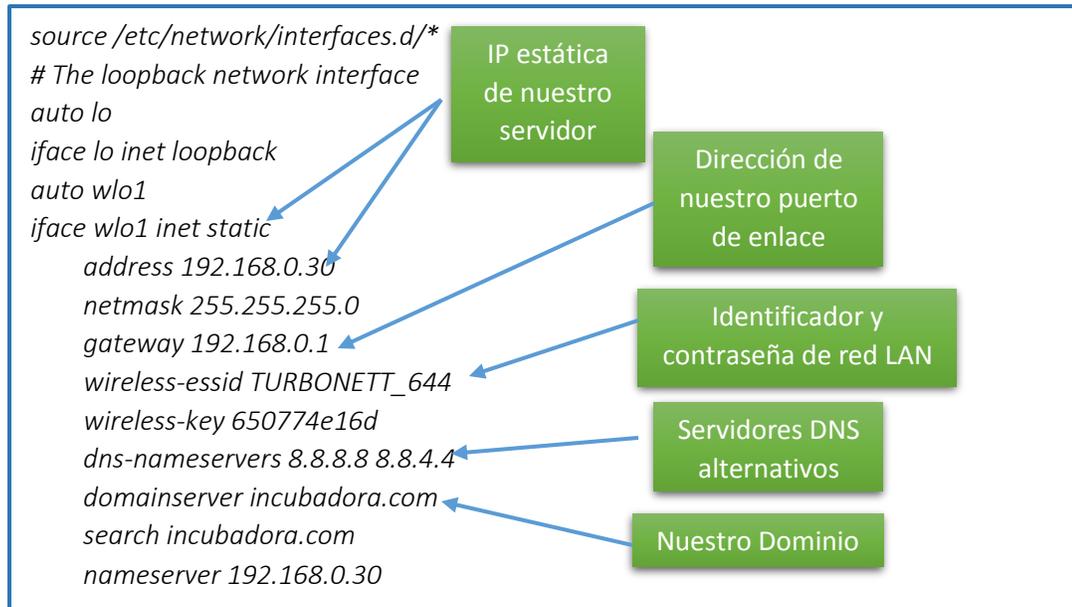
BIND ya viene instalado por defecto en la mayoría de distribuciones de Linux, pero se puede descargar e instalar su versión más reciente mediante un simple comando: ***apt-get install bind9***, como se muestra en la figura 2.39.

```
root@incubadora: /home/monografia# apt-get install bind9
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
Se instalarán los siguientes paquetes adicionales:
 bind9utils libirs141 libpython-stdlib libpython2.7-minimal libpython2.7-stdlib python
python-minimal python2.7 python2.7-minimal
Paquetes sugeridos:
 Bind9-doc python-doc Python-tk python2.7-doc binutils binfmt-support
Se instalarán los siguientes paquetes NUEVOS:
 Bind9 bind9utils libirs141 libpython-stdlib libpython2.7-minimal libpython2.7-stdlib
python python-minimal python2.7 python2.7-minimal
0actualizados, 10 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 0 no actualizados.
Se necesita descargar 4,458 kB de archivos.
Se utilizarán 19.3 MB de espacio adicional después de esta operación.
¿Desea continuar? [S/n] s
```

2.38: Instalación de Bind9.

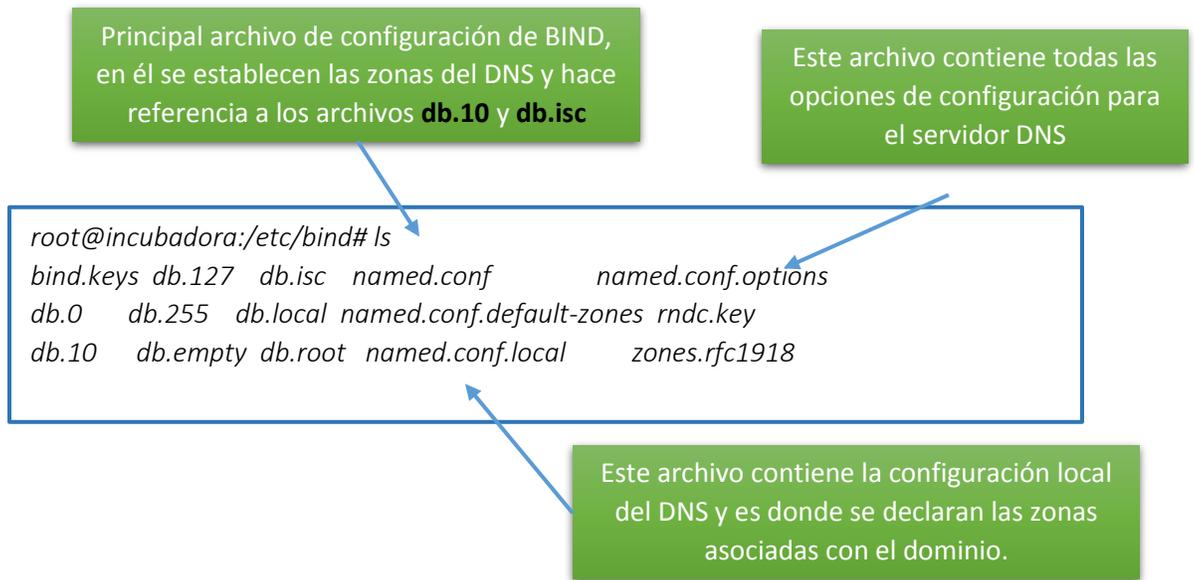
Al igual que el servidor web, el servidor DNS es mucho más fácil y rápido de instalar que de configurar. Lo primero que se debe hacer al configurar un servidor DNS es volver estática la IP de la computadora que alojará el servidor DNS. Esto se hace modificando el archivo ***“interfaces”*** que se encuentra en el directorio ***“etc/network/”***. En este archivo también se añaden otras configuraciones importantes como la dirección IP del puerto de enlace, las direcciones IP de los DNS alternativos, que en este proyecto se usarán los DNS de Google, nombre y contraseña de la red a la que nos conectaremos, así como el nombre de dominio.

El contenido del archivo de configuración en cuestión se puede ver en la figura 2.40.

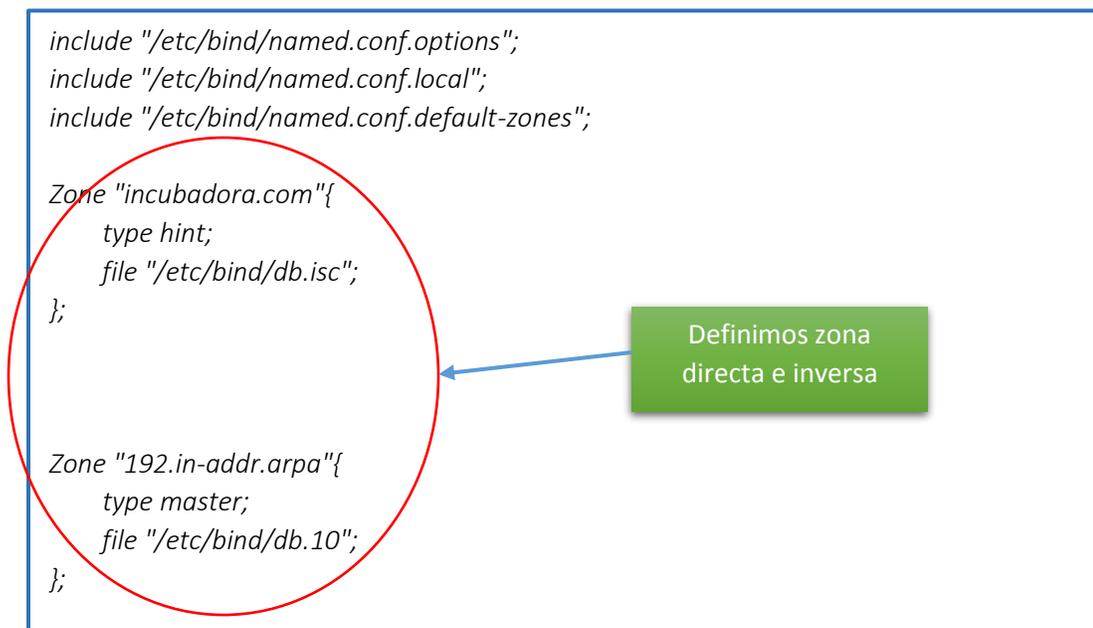


2.39: Archivo de configuración "interfaces".

Una vez hecha las configuraciones de red necesarias, se ingresa al directorio de BIND cuya dirección es `"/etc/bind/"`. En la figura 2.41 se muestra el contenido de este directorio y los archivos de configuración que se modificaron para habilitar el servidor DNS, los cuales son: **`named.conf`**, **`db.10`**, **`db.127`**, **`named.conf.local`** y **`named.conf.options`**. El contenido final de los archivos antes mencionados y el funcionamiento del servidor DNS se puede ver en las figuras 2.42, 2.43, 2.44 y 2.45.



2.40: Contenido del directorio de configuración de BIND. (Captura de pantalla)



2.41: Contenido de named.conf.

```

options {
    directory "/var/cache/bind";
forwarders {
    192.168.0.30;
};
dnssec-validation auto;

auth-nxdomain no; # conform to RFC1035
listen-on-v6 { any; };
};

```

Establecemos nuestro servidor como forwarder

Configuración de seguridad automática del servidor DNS habilitada.

```

//
// Do any local configuration here
//

// Consider adding the 1918 zones here, if they are not used in your
// organization
//include "/etc/bind/zones.rfc1918";

//Búsqueda Directa
Zone "incubadora.com" {
    type master;
    file "/etc/bind/db.isc";
};

//Búsqueda Inversa
Zone "0.168.192.in-addr.arpa"{
    type master;
    file "/etc/bind/db.10";
};

```

En named.conf.local editamos la configuración para la zona directa y la zona inversa de nuestro DNS

2.42: Archivos de configuración named.conf.options y named.conf.local.

```

; BIND reverse data file for local loopback interface
;
$TTL 604800
@ IN SOA incubadora.com. root.incubadora.com. (
    1 ; Serial
    604800 ; Refresh
    86400 ; Retry
    2419200 ; Expire
    604800 ) ; Negative Cache TTL
;
@ IN NS incubadora.com.
30 IN PTR incubadora.com.

```

En el archivo **db.10** agregamos nuestro dominio y el último octeto de la dirección IP de nuestro servidor.

```

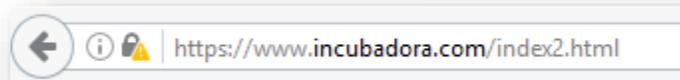
;
; BIND data file for local loopback interface
;
$TTL 604800
@ IN SOA incubadora.com. root.incubadora.com. (
    2 ; Serial
    604800 ; Refresh
    86400 ; Retry
    2419200 ; Expire
    604800 ) ; Negative Cache TTL
;
@ IN NS dns.incubadora.com.
@ IN A 192.168.0.30

dns IN A 192.168.0.30
www IN A 192.168.0.30

```

En el archivo **db.isc** agregamos nuestro dominio y la IP de nuestro servidor.

2.43: Archivos de configuración db.10 y db.isc.



2.44: Servidor DNS funcionando correctamente. (Captura de pantalla)

## 2.5.4 PHP y MySQL

PHP es un lenguaje de programación de uso general de código del lado del servidor originalmente diseñado para el desarrollo web de contenido dinámico. Fue uno de los primeros lenguajes de programación del lado del servidor que se podían incorporar directamente en el documento HTML en lugar de llamar a un archivo externo que procese los datos. El código es interpretado por el servidor web Apache que cuenta con un módulo de procesador de PHP que genera la página web resultante. PHP es vital para el sitio web de la incubadora, se usa para la conectividad con la base de datos y extraer dichos datos para mostrarlos en las tablas de control, también se borran los registros de incubación por medio de códigos PHP, inclusive el sitio web cuenta con una librería desarrollada en código PHP para poder exportar fácilmente los datos de la base de datos hacia un archivo de Excel, asimismo se maneja la autenticación de usuarios vía PHP. Un ejemplo de código PHP utilizado en el sitio web de la incubadora se muestra en la figura 2.46.

```
<?php
$link = mysqli_connect("127.0.0.1", "root", "monografia", "lecturas");
    $miquery=("SELECT * FROM `temps`");
    $result=mysqli_query($link, $miquery);
if($link->connect_error){
    die("Error al conectar".$link->connect_error);
}
$query = "select * from `temps`";
$jsonarray = array();
$busqueda = $link->query($query);
if($busqueda->num_rows > 0){
    while($row = $busqueda->fetch_assoc()){
        $jsonarrayitem = array();
        $jsonarrayitem['label'] = $row['fecha'];
        $jsonarrayitem['value'] = $row['temperatura'];
        array_push($jsonarray,$jsonarrayitem);
    }
}
$link -> close();
?>
```

2.45: Código PHP para extracción de datos de MySQL.

MySQL es un sistema de gestión de bases de datos relacional, es considerado como la base de datos de código abierto más popular en el mundo y sobre todo una de las más populares para entornos de desarrollo WEB. La funcionalidad de monitoreo remoto del prototipo de incubadora descrito en este documento, requería una base de datos para llevar un registro histórico de la temperatura y humedad durante el proceso de incubación, la cual fue implementada usando MySQL. Asimismo, se utiliza MySQL para la gestión de usuarios que pueden ingresar al sitio web y para llevar el control de records de la incubadora. En la figura 2.47 se ve un fragmento de una de las bases de datos creadas.

```
mysql> use `lecturas`;  
Reading table information for completion of table and column names  
You can turn off this feature to get a quicker startup with -A  
Database changed  
mysql> select *from `temps`;  
+----+-----+-----+-----+  
| id | fecha          | temperatura | humedad |  
+----+-----+-----+-----+  
| 1 | 2017-01-26 13:50:50 | 24.22      | 61      |  
| 2 | 2017-01-26 13:51:15 | 24.14      | 60      |  
| 3 | 2017-01-26 13:51:40 | 24.53      | 60      |  
| 4 | 2017-01-26 13:52:05 | 24.18      | 61      |  
| 5 | 2017-01-26 13:52:30 | 24.08      | 61      |  
| 6 | 2017-01-26 13:52:55 | 24.20      | 61      |  
| 7 | 2017-01-26 13:53:20 | 24.25      | 61      |  
| 8 | 2017-01-26 13:53:45 | 24.24      | 61      |  
| 9 | 2017-01-26 13:54:10 | 24.43      | 65      |  
| 10 | 2017-01-26 13:54:35 | 24.45      | 62      |  
| 11 | 2017-01-26 13:54:59 | 24.35      | 62      |  
| 12 | 2017-01-26 13:55:25 | 24.67      | 61      |  
| 13 | 2017-01-26 16:23:20 | 26.04      | 55      |
```

2.46: Base de datos principal del sistema incubación artificial en MySQL.

### 2.5.5 Página WEB

Una página web (también denominada documento web) consta de objetos. Un objeto es simplemente un archivo (por ejemplo, un archivo HTML, una imagen JPEG, un applet Java o un clip de video) que puede direccionarse mediante un único URL. La mayoría de las páginas web están constituidas por un archivo base HTML y varios objetos referenciados. Por ejemplo, si una página web contiene texto HTML y cinco imágenes JPEG, entonces la página web contiene seis objetos: el archivo base HTML y las cinco imágenes. El archivo base HTML hace referencia a los otros objetos contenidos en la página mediante las URL de los objetos. Cada URL tiene dos componentes: el nombre de host del servidor que alberga el objeto y la ruta del objeto.

El diseño de la página web del sistema de monitoreo de la incubadora, fue desarrollado en base a la directriz predominante hoy en día, la cual es: “mobile first” (móvil primero) o lo que también se conoce como diseño “*responsive*”. La idea de los diseños *responsive* es garantizar mediante códigos CSS y JavaScript que la página web se adapte al tamaño de pantalla de cualquier dispositivo, sin comprometer la visibilidad y calidad de la información desplegada en la página web.

#### 2.5.5.1 HTML, CSS y JavaScript

Hoy en día la estructura predominante de páginas web es la de HTML5, está estructura no es solo una nueva versión de HTML, ni siquiera una mejora, sino un nuevo concepto para la construcción de sitios web y aplicaciones en una era que combina dispositivos móviles, computación en la nube y trabajo en la red.

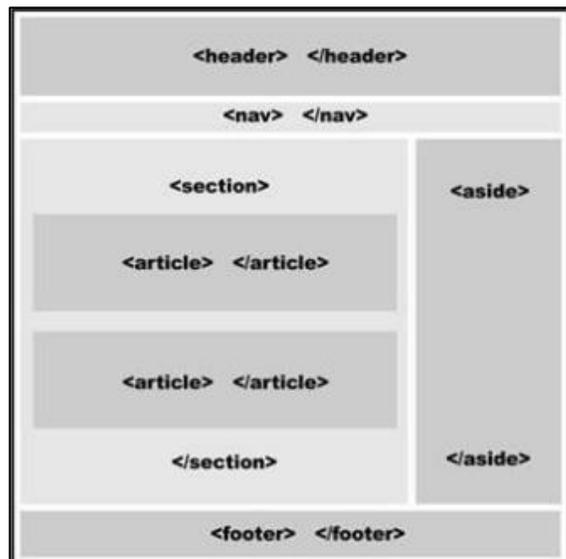
Gauchat (2012) explica que cuando se inició la primera versión de HTML, su propósito era crear la estructura básica de páginas web, organizar su contenido y compartir información. Pero fue esta limitada visión la que hizo que esta tecnología quedara en desuso ya que los desarrolladores web exigían dar estilos más atractivos y realizar páginas mucho más dinámicas, lo cual no era posible con la

visión de HTML con una estructura rígida, en tanto que CSS y Java eran tenidos como simples *plug-ins* (p. 9).

Muchas veces los desarrolladores sufrieron por desarrollar aplicaciones atractivas en la web por medio del rígido HTML. Por ejemplo, redondear las esquinas de un cuadro requería cierto nivel de experticia en CSS y Java, en cambio esto se hace de forma sencilla hoy con CSS3, compatible con HTML5.

La falta de integración resulto ser crítica y preparó el camino para la evolución que comparte espacio en el documento con HTML y no está afectado por las limitaciones de los plug-ins, gracias a estas nuevas implementaciones JavaScript, HTML y CSS se convirtieron pronto en la mejor combinación para la necesaria evolución de la web.

HTML5 es de hecho una mejora de esta combinación, el pegamento que une todo. HTML5 propone estándares para cada aspecto de la web y también un propósito claro para cada una de las tecnologías involucradas. A partir de ahora HTML provee los entornos, CSS se encuentra concentrado en como volver esta estructura utilizable y atractiva a la vista, en tanto que JavaScript tiene todo el poder necesario para proveer dinamismo y construir aplicaciones web completamente funcionales. Un ejemplo del entorno estructural que provee HTML se puede ver en la figura 2.48.



2. 47 Ejemplo de estructura en HTML (Modelo de cajas). Tomado de Gauchat (2012)

El principal archivo CSS usado en el diseño del sitio web de la incubadora, además del que se personalizó para satisfacer requerimientos de estilo propios, fue el **Bootstrap.css**.

Bootstrap es un framework de Twitter para desarrollo de aplicaciones web, sencillo, ligero, basado en los últimos estándares de desarrollo web (HTML5, CSS3 y JavaScript). Además, Bootstrap fue desarrollado con la lógica “*mobile first*”, todas sus clases fueron desarrolladas para su adaptación en cualquier resolución de pantalla.

La página web de inicio del sistema de monitoreo fue basada en el famoso diseño de rejillas de Bootstrap, el cual facilita la ubicación de objetos web en cualquier sitio de la pantalla, sin importar el tamaño de la misma. En la figura 2.49 se muestra un ejemplo del diseño web basado en rejillas de Bootstrap.



2.48: Ejemplo de diseño basado en rejillas de Bootstrap. Tomado de Pavón (2013)

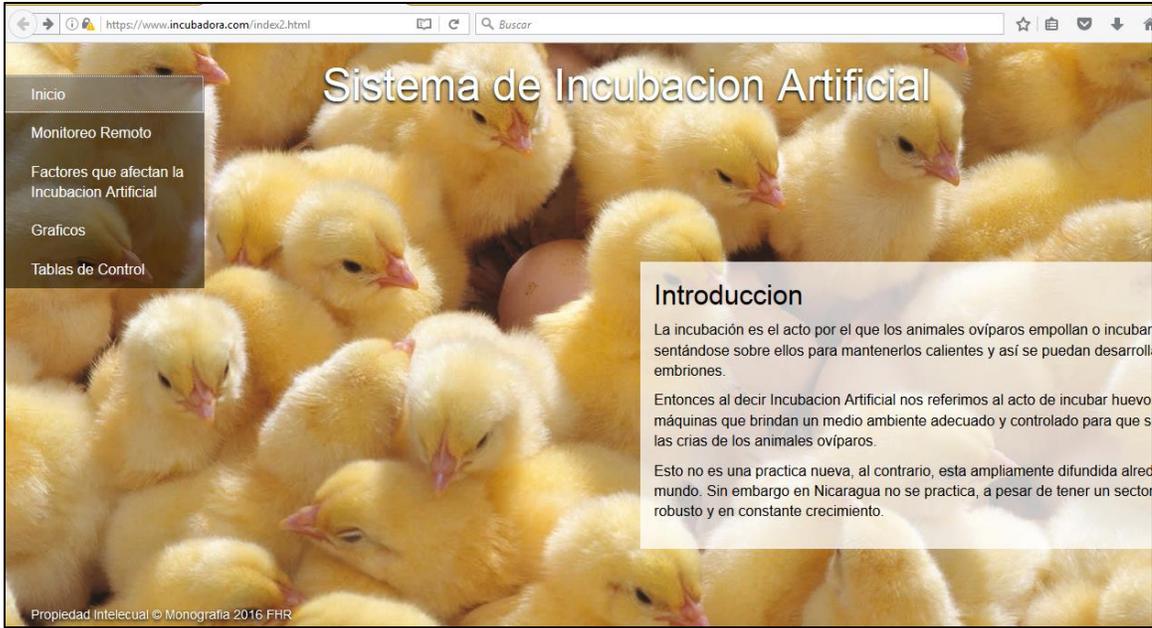
Para el correcto funcionamiento de Bootstrap se necesita el uso de *jQuery.js*, que es básicamente la librería que masifico el uso de JavaScript. Bibeault, Katz y De Rosa (2015) estiman que jQuery es usado por más del 63% del primer millón de sitios web más visitados en el mundo y por el 17% de todo internet. Otros scripts de JavaScript utilizados en el desarrollo del sitio web de la incubadora fueron:

- *jquery.backstretch.min.js*: Plug-in de jQuery que permite añadir una imagen dinámicamente escalable, con capacidad de hacerla desaparecer o

mostrarla a voluntad a cualquier página o elemento y sin importar el tamaño de pantalla del dispositivo.

- Responsive-nav.js: Archivo de JavaScript que nos permite crear un menú auto escalable para adaptar el menú del sitio de monitoreo a cualquier dispositivo móvil.
- Chartist.js: librería de JavaScript para crear atractivos gráficos con capacidad responsive.

En la figura 2.50 se muestra el funcionamiento del sitio web de la incubadora, junto con sus capacidades responsive.



2.49: Sitio web funcionando

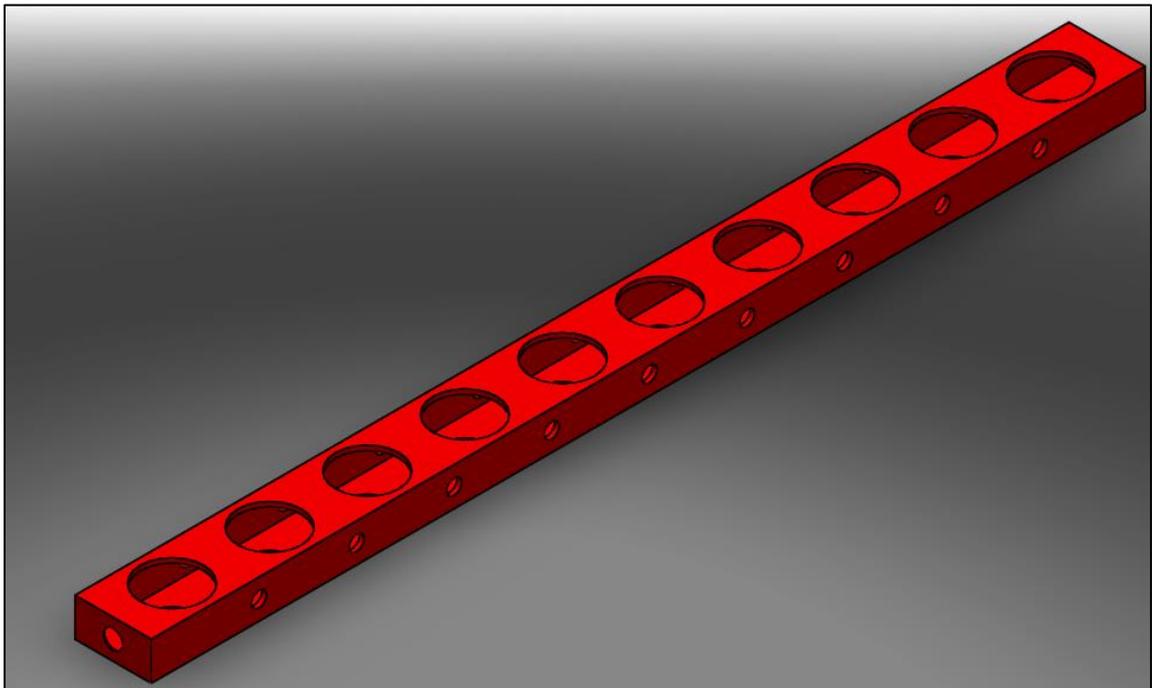
## 2.6 Estructura física del prototipo de incubadora desarrollado

Para el diseño de la estructura del prototipo de incubadora elaborada en este proyecto, se usó el reconocido software CAD, SOLIDWORKS. Se puede dividir el diseño de la estructura en dos etapas, primero el diseño de las bandejas y posteriormente el del cajón general.

De igual manera, en esta sección se describen los actuadores utilizados y las razones técnicas por las cuales fueron seleccionados.

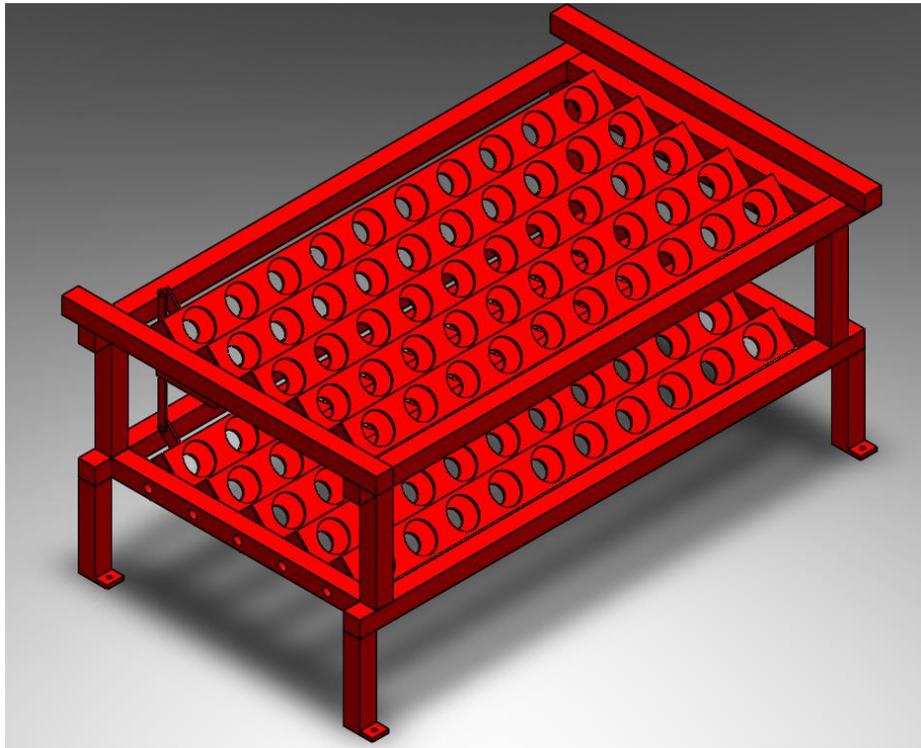
### 2.6.1 Diseño de bandejas

Como se mencionó en la sección 1.3, la incubadora descrita en este documento es de tipo horizontal con una capacidad de 100 huevos. Las bandejas de los huevos están hechas de tubo rectangular de 1"x2", chapa #20. Las bandejas fueron cortadas de tal forma que cada una de ellas tiene una longitud de 26" y pueden albergar 10 huevos, los cuales tienen una separación entre sí de 2.5". El diámetro de la cavidad en la que se colocaran los huevos es de 1.65". El diseño en SOLIDWORKS de cada bandeja se muestra en la figura 2.51.



2.50: Diseño en Solidworks de cada bandeja. (Captura de pantalla)

Se realizaron 10 de estas bandejas, y fueron dispuestas en dos pisos, de forma tal que en el primero piso haya 5 bandejas y 5 bandejas en el segundo. La armazón para este bloque de bandejas se hizo a base de tubos cuadrados de 1" chapa #18, las bandejas se unieron a esta armazón mediante pernos. La disposición de las bandejas y su armazón se muestra en la figura 2.52.



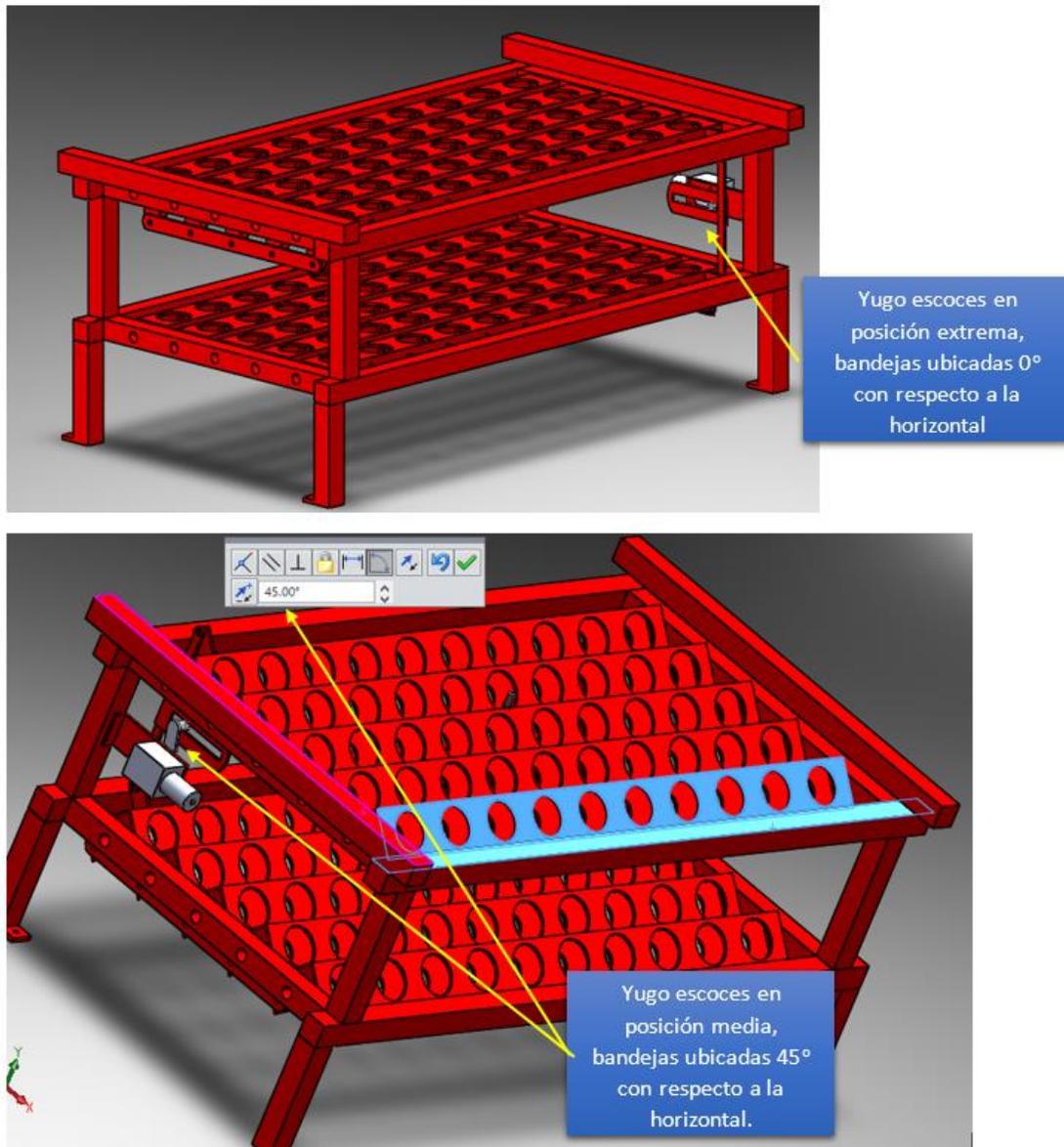
2.51: Armazón de bandejas. (Captura de pantalla)

La inclinación de las bandejas en 45° se logró mediante el conocido mecanismo de barras denominado Yugo Escocés, tiene la misma función de un mecanismo de biela-manivela, es decir convierte el movimiento rotacional del motor en un movimiento longitudinal, de tal forma que empuja e inclina las bandejas hacia adelante y hacia atrás. Las ventajas del yugo escoces por sobre los sistemas convencionales de biela-manivela son las siguientes:

- Menos piezas móviles.
- Funcionamiento más suave.

- Velocidad menor en los extremos, y por tanto tiempo de recorridos más largos cerca de los puntos indicados, lo cual mejora el rendimiento de los motores.

En la figura 2.53 se puede ver el sistema de Yugo Escoces implementado para la incubadora, también se puede apreciar que en uno de sus puntos extremos, la inclinación de las bandejas es de  $45^\circ$ , el cual es el ángulo de inclinación sugerido para el volteo de los huevos.



2.52: implementación de Yugo Escoces. (Captura de pantalla)

### 2.6.1.1 Determinación del motor para el movimiento de los huevos.

Espinoza y Matey (2009) recomiendan girar los huevos a una velocidad entre 0.5 rpm y 1.5 rpm. Conociendo el rango de operación del motor, se procede a calcular la torsión, es decir el torque estable y torque de arranque aplicado por el motor para hacer girar la estructura.

Para el cálculo del torque estable, debe tomarse en cuenta que todos los huevos no son iguales, ni la construcción de las bandejas, ni su sistema de transmisión de potencia es homogéneo. Se debe tener en cuenta la excentricidad de los centros de masa y la diferencia de peso de los huevos.

Para realizar los cálculos del torque estable se realizaron las siguientes asunciones conservadoras en cuanto a la torsión requerida por el sistema:

- Se toma como valor aceptable que la excentricidad máxima de uno de los centros de masa es de 3 cm, respecto al punto pivote.
- Se asume la posibilidad de una diferencia de peso entre las dos mitades de la estructura de las bandejas debido a diferencias de peso en los huevos, se asume 10g por cada huevo. Es decir una diferencia de peso entre la bandeja superior e inferior de 500g (50 huevos x 10g).

Teniendo presente la excentricidad de los centros de masa y la diferencia de peso entre los huevos, el torque estable se calcula usando las ecuaciones 2.15 y 2.16.

$$\text{Torque}_{\text{Estable}} = \text{Torsion}_{\text{Excentricidad}} + \text{Torsion}_{\text{Diferencia de peso}} \quad (\text{Ec. 2. 16})$$

$$\text{Torsion}_{\text{Excentricidad}} = N \times M \times D \quad (\text{Ec. 2. 15})$$

$$\text{Torsion}_{\text{Diferencia de Peso}} = N \times M \times D$$

Donde:  $N$  = Numero de huevos,  $M$  = Masa de los huevos,  $D$  = Excentricidad

$$\text{Torsion}_{\text{Excentricidad}} = 50 \text{ huevos} \times 0.07\text{Kg} \times 3\text{cm} = 10.5 \text{ Kg.cm}$$

$$\text{Torsion}_{\text{Diferencia de Peso}} = 50 \text{ huevos} \times 0.01\text{Kg} \times 3\text{cm} = 1.5\text{Kg.cm}$$

Sobre el entendido que el sistema va a estar en reposo y que la única fuerza que va actuar sobre las bandejas es la gravedad estándar de la superficie terrestre. Entonces tenemos que el torque estable es de:

$$Torque_{Estable} = 12 \text{ Kg} \cdot \text{cm}$$

Torque de arranque: se debe suministrar a la estructura el torque necesario para sacarla de la posición de reposo sin importar en qué posición se encuentre y se asume que alcanzará su velocidad máxima (0.6 rpm) en 1 segundo.

$$Torque_{Arranque} = I \times \alpha \quad (\text{Ec. 2. 17})$$

Donde  $I$  = Momento de Inercia de la carga,  $\alpha$  = Aceleracion angular

El momento de inercia de un tubo rectangular de masa  $M$ , ancho  $a$  y longitud  $b$  respecto al eje de inercia que pasa por el centro, como es en el caso de las bandejas del sistema de incubación, viene dado por la ecuación 2.18.

$$I = \frac{M}{12} b^2 \quad (\text{Ec. 2. 18})$$

Cada bandeja albergara 10 huevos, cuyo peso promedio según Cobb-Vantress (2013) es de 0.07Kg. Es decir, cada bandeja tendrá una masa de 700g debido a los huevos más 500g debido al peso del tubo rectangular, para un total de 1.2Kg por bandeja.

$$I = \frac{1.2\text{Kg}}{12} ((0.6604\text{m})^2) = 0.04361 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$I_{total} = 10 \text{ bandejas} \times I = 10 \text{ bandejas} \times 0.04361 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 = 0.4361 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$W = 0.6 \text{ rpm} = 0.06283 \text{ rad}/\text{seg}$$

$$\alpha = \frac{0.06283 \text{ rad}/\text{seg}}{1 \text{ seg}} = 0.06283 \text{ rad}/\text{seg}^2$$

$$Torque_{Arranque} = 0.4361Kg.m^2 \times 0.06283 \text{ rad/seg}^2 = 0.0274 N.m$$

*Se convierte a Kgf.cm*

$$Torque_{Arranque} = 0.28Kgf.cm$$

$$Torque_{Total} = Torque_{Estable} + Torque_{Arranque}$$

$$Torque_{Total} = 12Kgf.cm + 0.28Kgf.cm = 12.28 Kgf.cm$$

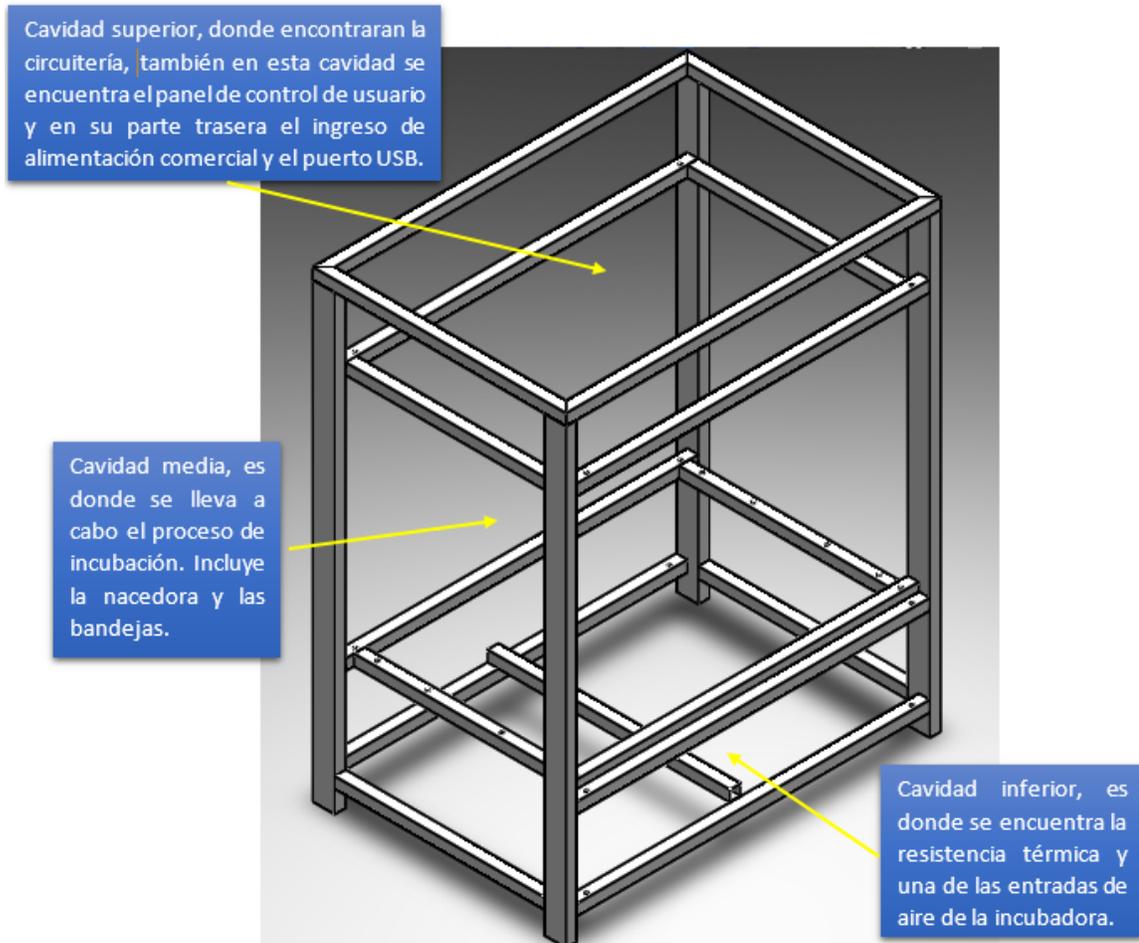
Entonces además de las características mecánicas señaladas en la sección 1.6.3.1, el motor debe operar a una velocidad de 0.6 rpm y tener como mínimo un torque de 12.28Kgf.cm. El motor seleccionado cumple con todas las características descritas en la sección 1.6.3.1 y en esta sección. Su velocidad de operación es de 0.6 rpm y tiene un elevado valor de torque, 27 Kgf.cm, lo que garantiza que podrá sacar fácilmente las bandejas del reposo sin importar en qué posición se encuentren, dicho motor se muestra en la figura 2.54.



2.53: Motor DC responsable del giro de las bandejas

### 2.6.2 Diseño del cajón estructural.

Para el diseño del cajón de la incubadora se pensó primeramente en un esqueleto que fuera a soportar todo el peso de la estructura, por lo que se desarrolló el esqueleto estructural que me muestra en la figura 2.55, a base de tubos rectangulares de 1"x2" y tubos cuadrados de 1", ambos con chapa #18.

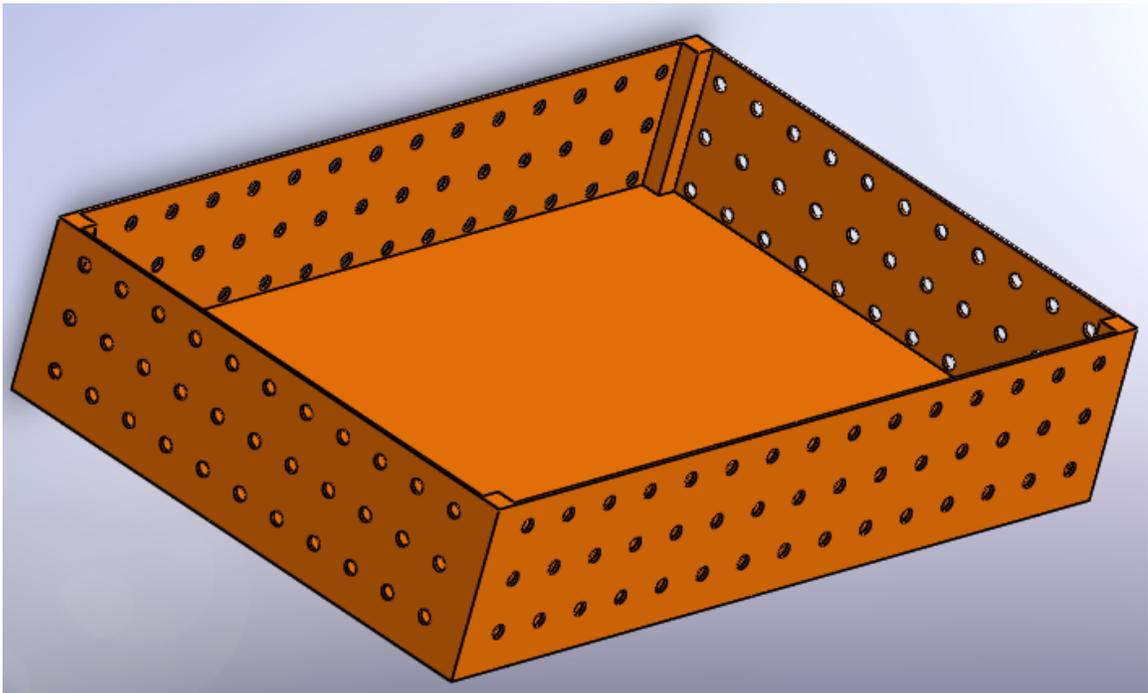


2.54: Esqueleto estructural de la incubadora

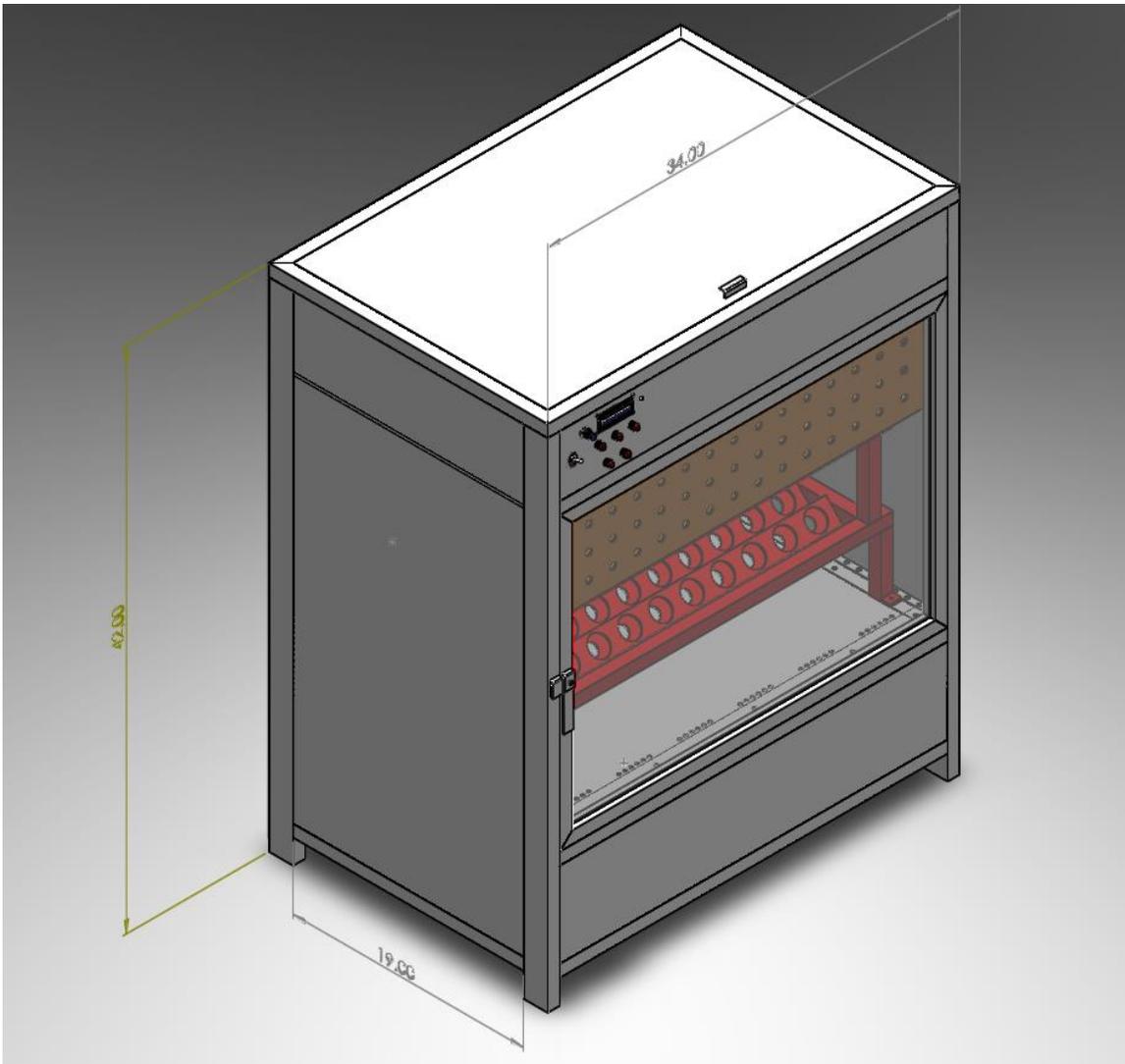
Para realizar las paredes de la incubadora se usó lámina de zinc calibre 22, o lo que es lo mismo, de un espesor de 0.030". Se dejó un espacio intermedio entre las láminas que conforman la pared exterior de la incubadora, con la que conforma la pared interior de la incubadora para la ubicación de cables y sensores. Asimismo, la cavidad interior está aislada en un núcleo creado a base de estas láminas, con el fin de mantener el calor.

La puerta de la incubadora se hizo de vidrio, el cual tiene unas dimensiones de 30"x22" con un espesor de 1/8". El marco de la puerta fue hecho a base de tubos cuadrados.

La nacedora fue hecha a base de plywood de 1/8" de espesor con unas dimensiones de 31.25"x20.25"x6.50". Cuenta con varios orificios para facilitar la circulación de aire. El diseño de la nacedora se muestra en la figura 2.56 y el diseño final de la incubadora se muestra en la figura 2.57.



2.55: Diseño de nacedora. (Captura de pantalla)



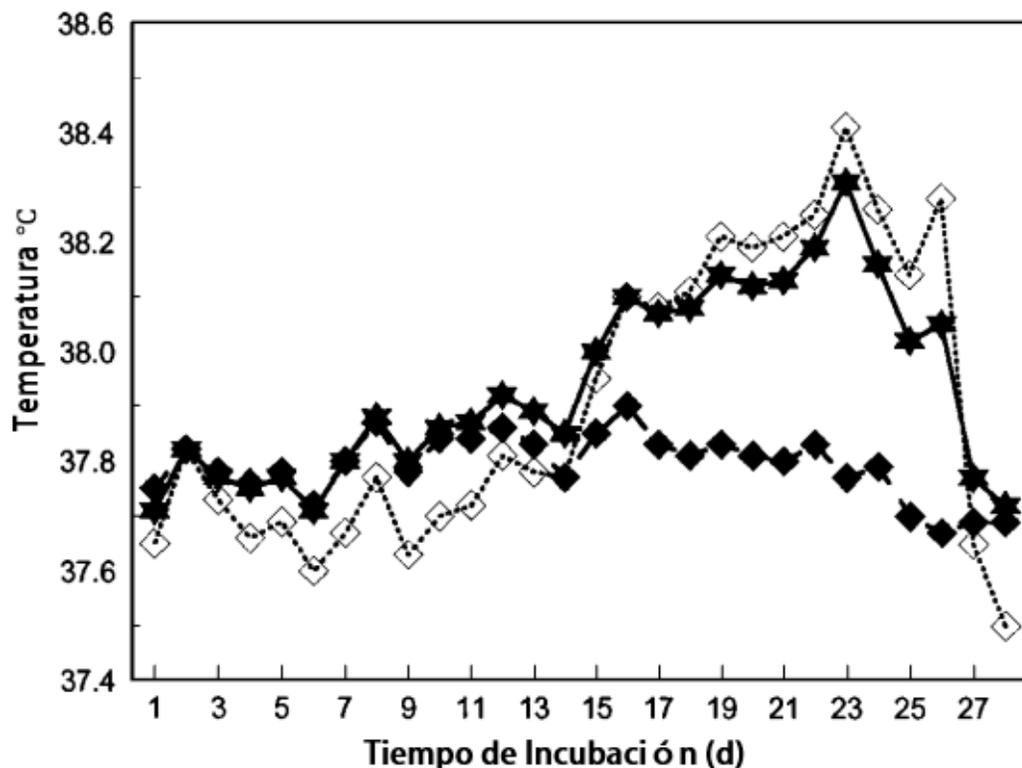
2.56: Diseño final del prototipo de incubadora. (Captura de pantalla)

### 2.6.2.1 Determinación del ventilador a utilizar

A como se explicó en la sección 1.2, el proceso de incubación se ve influenciado por muchos factores, sin embargo, el factor más estudiado es la temperatura de la incubadora, con el avance de los estudios en avicultura este enfoque ha cambiado un poco, ya que los diseñadores de las incubadoras se han dado cuenta que mantener una temperatura uniforme sobre los huevos en un salón con huevos en diferentes etapas del proceso de incubación, no es algo fácil.

El enfoque de estudio hoy en día es sobre la temperatura que experimenta el embrión en desarrollo. Se ha descubierto que en la primera mitad del proceso de

incubación la temperatura de los embriones es menor que la temperatura de la incubadora, esto quiere decir que los embriones reciben calor del ambiente que los rodea, lo cual es positivo para su desarrollo. En cambio, en la segunda mitad del proceso de incubación la temperatura del embrión es mayor que la temperatura de la incubadora, lo que quiere decir que el embrión pierde calor a través del medio ambiente, lo cual es negativo para el desarrollo del embrión. La variación de temperatura en la segunda mitad del proceso de incubación puede llegar ser hasta de 3.1°C, según el estudio de French (1997) cuyos resultados se muestran en la tabla 2.10. Asimismo, en la Figura 2.58, tomada del estudio de French (1997) se puede ver la diferencia entre la temperatura del embrión dentro del huevo en contraposición con la temperatura de la incubadora.



2.57: Temperatura de un huevo de pavo incubado a 37.5°C; Temperatura del embrión (◇), Temperatura de la cascara del huevo (★) y temperatura de la incubadora (◇). Tomado de French (1997)

Tabla 2.10: Variación de temperatura de los huevos con respecto a la temperatura de operación en diferentes tipos de incubadoras, de diferentes lugares de Norte América y Europa. Tomado de French (1997)

Criadero	Tipo de incubadora	Temperatura de operación	Temperatura sobre los huevos	
			Promedio	Máxima
A	Tambor multi-etapa	37.5	37.9	38.7
B	Tambor multi-etapa	37.4	37.5	38.2
C	Túnel multi-etapa	37.0	37.2	37.8
D	Estante fijo multi-etapa	37.6	37.8	38.0
E	Estante fijo multi-tapa	37.4	37.4	38.0
F	Estante fijo multi-etapa	37.4	37.4	38.2
G	Gabinete multi-etapa	37.5	37.6	38.2
H	Gabinete etapa única	37.4	37.7	38.0
I	Gabinete etapa única	37.3	37.4	37.7
J	Gabinete etapa única	37.3	37.6	40.4
K	Gabinete etapa única	37.6	37.6	38.1
L	Gabinete etapa única	37.1	37.1	38.6

Como ya se pudo ver, las variaciones entre la temperatura del embrión y la temperatura de la incubadora son considerables y limitan el desarrollo homogéneo de todo el lote, afortunadamente estudios han demostrado que el uso de ventilación forzada es mejor que ventilación estable, justamente porque la temperatura de la incubadora es muy próxima a la del embrión, lo cual es lo ideal.

French (1997) explica que la temperatura que experimenta el embrión depende de tres factores:

1. Temperatura de la incubadora.
2. La capacidad del calor de pasar entre la incubadora y el embrión.
3. La producción metabólica del embrión en sí.

French (1997) relaciona estas tres cosas mediante la ecuación 2.19:

$$T_{emb} = T_{inc} + \frac{(C_{emb} - C_{PA})}{K} \quad (Ec. 2. 19)$$

Donde  $T_{emb}$  = temperatura del huevo ( $^{\circ}\text{C}$ );  $T_{inc}$  = temperatura de la incubadora ( $^{\circ}\text{C}$ );  $C_{emb}$  = producción calórica del embrión en un momento dado de la incubación (Watts);  $C_{PA}$  = pérdida de calor por enfriamiento evaporativo;  $K$  = conductancia térmica del huevo y del límite circundante de aire alrededor del huevo.

En el presente proyecto ya se tiene control sobre la temperatura de la incubadora y French (1997) explica en su estudio que la producción de calor metabólico del embrión es la misma y no puede ser variada sin importar las medidas externas que se tomen, entonces queda enfocarse en la capacidad de pasar el calor entre la incubadora y el embrión.

La conductancia térmica  $K$  combina la conductividad térmica del huevo, sobre la que no se tiene influencia alguna y es dependiente del desarrollo embrionario, y de la capa límite de aire alrededor del huevo. French (1997) reportó en su estudio que esta capa es una barrera protectora contra la pérdida de calor 100 veces mayor que la cáscara del huevo en sí misma.

El valor de  $K$  es dependiente de la velocidad de aire sobre los huevos y se calcula mediante la siguiente ecuación:

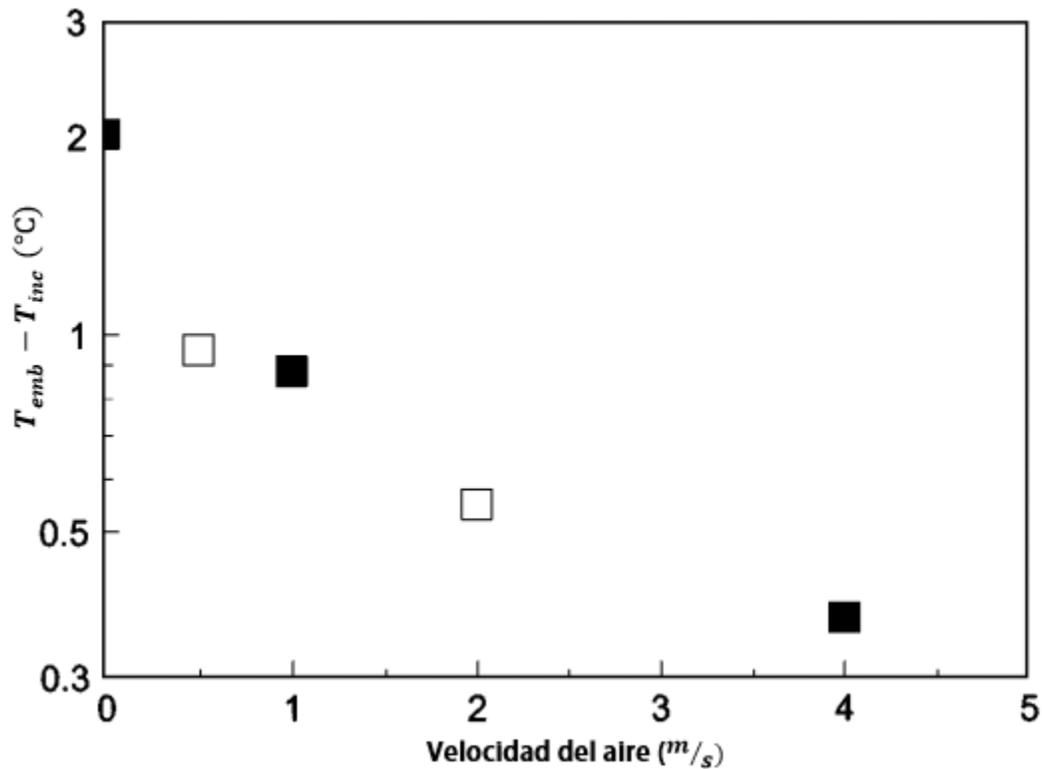
$$K = (0.97U^{0.6})M^{0.53} \quad (\text{Ec. 2. 20})$$

Donde  $U$  = velocidad del aire en  $\text{cm/s}$ ;  $M$  = masa del huevo en  $\text{gr}$ .

Una consecuencia importante de esta relación es que demuestra que la diferencia entre la  $T_{inc}$  y la  $T_{emb}$  durante el segundo periodo de incubación se hace más grande a menores velocidades del aire, en cambio sí se aumenta la velocidad del aire en la incubadora, esta diferencia puede ser reducida al mínimo.

French (1997) señala que al variar la velocidad de aire de  $0 \text{ m/s}$  (incubadora de aire estable) a  $100 \text{ m/s}$  o  $400 \text{ m/s}$ , la conductancia térmica se incrementó en un 250% y en un 600%, respectivamente. En la figura 2.59 se muestra el resultado de dos modelos usados por French (1997) para medir el diferencial de

temperatura entre la incubadora y el embrión en desarrollo. Ambos modelos coinciden que a medida que la velocidad del aire se incrementa, el diferencial de temperatura es menor.



2.58: Efecto de la velocidad del aire sobre la diferencia entre la temperatura interna del huevo y la temperatura de la incubadora. Modelo usado por French #1 (■); Modelo usado por French #2 (□). Tomado de French (1997).

Entonces según lo descrito anteriormente, el ventilador que se seleccionó se guió por otros criterios además del volumen de aire mínimo que necesitaban los embriones el cual es de 0.8 cfm (descrito en la sección 1.2.4), sino que además debía garantizar una alta velocidad del aire dentro de la incubadora para que la temperatura leída por los sensores fuera en realidad la temperatura interna del embrión, asimismo se tomaron en cuenta criterios de durabilidad y robustez, ya que este sistema debe ser sometido a un uso constante durante 21 días, las 24 horas del día, sin mencionar el número de veces que se puede repetir el proceso de incubación.

El candidato perfecto para la aplicación es el ventilador de computadora Intel D34223. La velocidad del aire para este ventilador no será ningún problema ya que puede llegar a trabajar hasta 2,600 RPM, lo que garantiza el flujo de aire requerido por los huevos, la remoción del aire viciado producido por los embriones durante el proceso, diferencial de temperatura entre la incubadora y los embriones mínimo, además su durabilidad (50,000 horas de trabajo) garantiza confiabilidad durante el uso de la incubadora.

Este ventilador cuenta con capacidad de control de velocidad vía PWM, en este proyecto se trabaja a la máxima velocidad del ventilador para garantizar la uniformidad de la temperatura, pero también se dejó en el hardware del sistema electrónico la capacidad de controlar la velocidad del ventilador.

Se puede usar cualquier ventilador con características similares al implementado en este proyecto y también el hardware del sistema electrónico permite que se usen ventiladores de menor potencia, esto será a costa de incrementar el diferencial de temperatura entre la incubadora y el embrión en desarrollo. En la figura 2.60 se muestra el ventilador usado en la implementación de este proyecto.



*2.59: Ventilador Intel D34223*

### 2.6.2.2 Determinación del humidificador pasivo.

En la sección 1.2.3 se describieron algunos problemas que pueden ocasionarse por no mantener un nivel de humedad óptimo. Sin embargo, no solo son esas las consecuencias, la humedad relativa está asociada a la pérdida de peso del embrión y esta última al éxito de la incubabilidad.

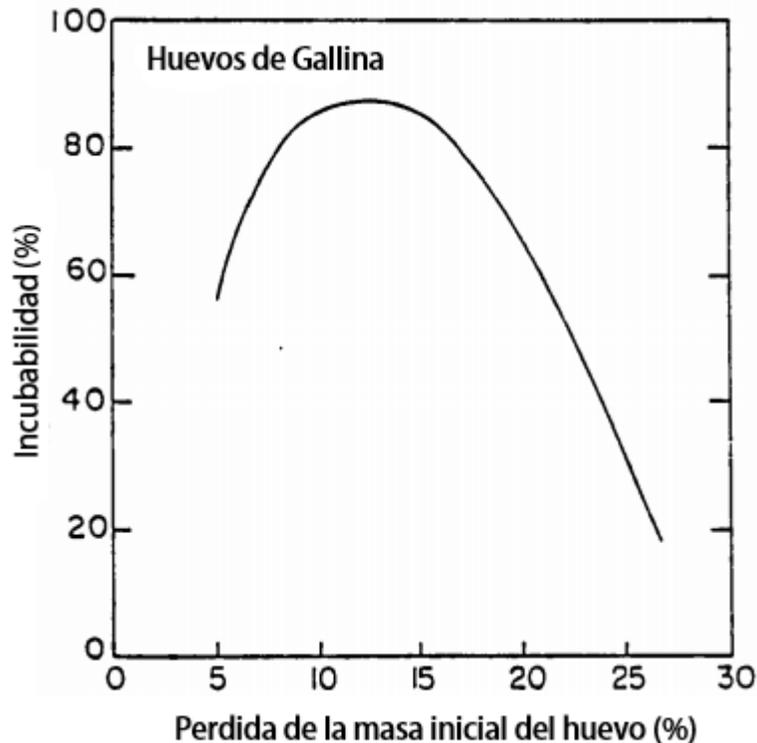
Según Van Der Pol (2012), el éxito de la incubabilidad en huevos de gallina es influenciado por la pérdida de peso durante la incubación, esta aseveración es confirmada por Davis (1987), el cual señala que un incremento o disminución en la pérdida total de agua durante el proceso de incubación, va a repercutir en el éxito de la incubabilidad. Rhan y Ar (1974) reportan que el peso perdido durante la incubación, se debe exclusivamente a la pérdida de agua vía evaporación.

Es decir que, si se mantiene una humedad relativa muy alta en la incubadora, sucederá que el embrión no podrá eliminar el agua excedente y se tendrá un pollito muy grande al momento de la eclosión, pero por su tamaño será incapaz de realizar los movimientos necesarios para abrir el cascarón y nacer. En cambio si la pérdida de peso es excesiva, entonces el embrión sufrirá la muerte ya que según Davis (1987) a diferencia de los mamíferos, los embriones aviares tienen una cantidad de agua finita para su desarrollo, si se pierde mucho de esa agua el embrión no se acabará de desarrollar, Davis (1987) explica que este efecto es más nocivo en la tercer semana de incubación que es cuando el mecanismo osmoregulatorio del embrión disminuye preparándose para la eclosión, además que en la tercer semana es cuando el embrión pierde mayor peso.

En el experimento realizado por Davis (1987), los huevos incubados a baja humedad (10-20% HR) llegaron a perder hasta 1,500 mg de peso al día, durante la última semana de incubación en contraposición con el grupo de control incubado a una humedad estándar (50%-60%) que perdieron 375 mg de peso al día, durante la última semana de incubación.

Según Davis (1987), Van Der Pol (2012) y Bruzual et al (2012), los huevos de pollo incuban con el mayor éxito cuando estos pierden alrededor del 12% de su

peso inicial. Por otro lado, Davis (1987) probó que, si el huevo llega a perder alrededor de un 20% de su peso inicial, el embrión morirá durante la incubación, precisamente en la tercera semana de incubación donde el estrés por excesiva pérdida de agua es mayor. En la figura 2.61 se muestra la relación entre la pérdida de peso y la incubabilidad, determinada por Davis (1987).



2.60: Relación entre la pérdida de peso del huevo y el éxito en la incubación. Tomado de Davis (1987)

Entonces habrá que mantener un nivel constante de humedad para evitar la baja o excesiva pérdida de peso de los huevos. Bruzual et al (2012) reportan que el rango de humedad relativa en que se puede incubar es de 40%-70%, sin embargo, ellos también afirman que la máxima incubabilidad se obtiene al mantener la humedad relativa en 55%, ya que en este valor el huevo pierde aproximadamente el 12% de su peso inicial.

Conociendo los requerimientos de humedad del sistema, entonces se procede a realizar el cálculo de agua que necesita el mismo. Para esto se debe tomar en cuenta las condiciones ambientales para la ciudad de Managua, la temperatura

en Managua oscila entre 28°C - 32°C y la humedad relativa promedio anual es de 73%, según INETER. En efecto, al encender la incubadora, la primer lectura de los sensores corresponde a una temperatura de 30°C y una humedad relativa de 80%. A medida que pasa el tiempo, el controlador de temperatura empieza a aplicar las acciones necesarias para que la temperatura llegue a 37.8 y a su vez la humedad en el recinto va descendiendo hasta llegar a 40%. Entonces se desea pasar de un 40% de HR a 55% de HR, para esto se debe calcular el aporte necesario de agua al aire para pasar de 40% a 55% de HR a una temperatura de 37.8°C. Se procede a calcular la cantidad de agua presente en el recinto a 40% de HR:

$$T = 37^{\circ}\text{C} = 310.15^{\circ}\text{K}$$

$$\phi = \text{HR} = 40\%$$

$$P_{GS} = 6.3304 \text{ KPa (Presion de Vapor Saturado a } 37^{\circ}\text{C)}$$

$$P_V = \phi \times P_{GS} \quad (\text{Ec. 2. 21})$$

$$P_V = \phi \times P_{GS} = 0.4 \times 6.3304 \text{ KPa} = 2.53216 \text{ KPa (Presion de vapor en recinto)}$$

Con estos datos y conociendo el volumen del recinto de incubación, se puede calcular la masa de agua presente en el aire mediante la ley del gas ideal, planteada en la ecuación 2.22.

$$P_V \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (\text{Ec. 2. 22})$$

Donde,

$$V = 0.2346 \text{ m}^3 \text{ (Volumen del recinto de incubacion)}$$

$$m = \text{masa en Kg}$$

$$R = 0.4615 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{K}}$$

Despejando y sustituyendo se tiene:

$$m = \frac{P_v \cdot V}{R \cdot T} = \frac{(2.53216 \text{ KPa})(0.2346 \text{ m}^3)}{\left(0.4615 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{°K}}\right)(310.15 \text{ °K})} = 4.15 \times 10^{-3} \text{ Kg} = 4.15 \text{ gr}$$

Entonces, a 40% de humedad se tiene 4.15ml de agua en el aire del recinto. Se procede a realizar el mismo cálculo, pero ahora para 55% de HR:

$$P_v = \phi \times P_{GS} = 0.55 \times 6.3304 \text{ KPa} = 3.48172 \text{ KPa} \text{ (Presion de vapor en recinto)}$$

$$m = \frac{P_v \cdot V}{R \cdot T} = \frac{(3.48172 \text{ KPa})(0.2346 \text{ m}^3)}{\left(0.4615 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{°K}}\right)(310.15 \text{ °K})} = 5.70 \times 10^{-3} \text{ Kg} = 5.70 \text{ gr}$$

Entonces a 55% de humedad debe de haber 5.70ml de agua en el aire del recinto de incubación. Es decir que para tener el nivel de humedad óptimo se debe realizar un aporte de:

$$\text{Aporte de agua} = 5.70 \text{ ml} - 4.15 \text{ ml} = 1.55 \text{ ml}$$

Para la eclosión se debe aumentar la humedad hasta un 70% para que la cáscara se ablande y facilitar el nacimiento de los pollitos. La masa de agua presente en el aire del recinto para una HR del 70% es de:

$$P_v = \phi \times P_{GS} = 0.70 \times 6.3304 \text{ KPa} = 4.43128 \text{ KPa} \text{ (Presion de vapor en recinto)}$$

$$m = \frac{P_v \cdot V}{R \cdot T} = \frac{(4.43128 \text{ KPa})(0.2346 \text{ m}^3)}{\left(0.4615 \frac{\text{KPa} \cdot \text{m}^3}{\text{Kg} \cdot \text{°K}}\right)(310.15 \text{ °K})} = 7.26 \times 10^{-3} \text{ Kg} = 7.26 \text{ gr}$$

Entonces a 70% de humedad debe haber 7.26 ml de agua en el aire del recinto de incubación. El aporte de agua necesario para pasar de 55% a 70% de HR es:

$$\text{Aporte de agua} = 7.26 \text{ ml} - 5.70 \text{ ml} = 1.56 \text{ ml}$$

Asimismo, se debe tomar en cuenta el consumo de agua por los huevos. Jimenez y Veloza (2008) explican que cada huevo consume 59 ml de agua a lo largo del proceso de incubación. Es decir que se tendrá un consumo de agua debido a los huevos de:

$$\text{Consumo de agua} = 100 \text{ huevos} \times 59 \text{ ml} = 5,900 \text{ ml}$$

$$\text{Consumo de agua diario} = \frac{5,900 \text{ ml}}{21 \text{ días}} = 280 \text{ ml/día}$$

$$\text{Consumo de agua a cada minuto} = \frac{280 \text{ ml/día}}{24 \frac{\text{hrs}}{\text{día}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{hrs}}} = 0.194 \text{ ml/min}$$

Al momento de abrir la puerta, se afecta el microambiente de la incubadora y la temperatura disminuye rápidamente y también lo hace la humedad relativa en busca de alcanzar el equilibrio con el aire atmosférico. Por tanto, también se debe tomar en cuenta las pérdidas asociadas por abrir la puerta. Debido a que la humedad de Managua es alta entonces se asumirá una pérdida de 1 ml. En la tabla 2.11 se muestra el agua requerida por el recinto de incubación para 55% de HR y 70% de HR.

Tabla 2.11: Agua requerida por el recinto de incubación

Descripción	Cantidad
<b>Aumentar la humedad a 55%</b>	1.55ml
<b>Consumo de agua de los huevos</b>	0.194ml
<b>Pérdidas</b>	1ml
<b>Total (55% HR)</b>	2.744ml
<b>Aumentar la humedad a 70%</b>	1.56ml
<b>Total (70% HR)</b>	4.304ml

Ahora que se conoce la cantidad de agua necesaria, se procede a calcular la capacidad del depósito. Para esto se define el tiempo de autonomía del equipo igual a 1 día. Durante este tiempo la humedad debe mantenerse en los valores óptimos sin atención alguna del operador. Usando la ecuación 2.23, se tiene que:

$$V_R = Q \times t \quad (\text{Ec. 2. 23})$$

Donde,

$$V_R = \text{Volumen de agua requerido}$$

$$Q = \text{Caudal de agua}$$

$$t = \text{tiempo de autonomía}$$

Sustituyen y evaluando,

$$V_{R(55\%)} = 2.744 \frac{ml}{min} \times \left( 24 \text{ hrs} \times 60 \frac{min}{hrs} \right) = 3,951.36 \text{ ml}$$

$$V_{R(70\%)} = 4.304 \frac{ml}{min} \times \left( 24 \text{ hrs} \times 60 \frac{min}{hrs} \right) = 6,197.76 \text{ ml}$$

Entonces se necesita un recipiente con un mínimo de capacidad de 3.951 L para mantener la humedad en 55% los primeros 19 días y se debe añadir un recipiente extra con una capacidad mínima de 2.3 L al momento de la eclosión para aumentar la humedad a 70%.

Para efectos prácticos en este proyecto se usa un recipiente con una capacidad de 5L y se añade otro de la misma capacidad al momento de la eclosión.

### 2.6.2.3 Determinación de la resistencia térmica.

La resistencia eléctrica es la fuente de energía para el calentamiento del recinto de incubación, suministra la energía en forma de calor al sistema de acuerdo a la corriente que pasa a través de ella, con el fin de mantener la temperatura en el valor deseado. Para su selección se tomaron las siguientes consideraciones:

- Energía requerida para calentar el aire del recinto de incubación de la temperatura ambiente que oscila en 30°C hasta la temperatura optima de incubación de 37.8°C.
- Energía requerida por cada huevo para su desarrollo embrionario.
- Energía pérdida a través de las paredes.
- Energía pérdida por humidificación.
- Energía pérdida cuando se abren las puertas.

A continuación, se procederá a calcular cada uno de los factores de carga térmica descritos anteriormente:

#### **Energía requerida para calentar el aire de la incubadora:**

$$Q = m \cdot (T_2 - T_1) \cdot C_V \quad (\text{Ec. 2. 24})$$

Donde,

$m = \text{masa total del aire en el recinto de incubacion}$

$T_2 = 37.8^\circ\text{C} = 310.95^\circ\text{K}$  (Temperatura final del aire)

$T_1 = 30^\circ\text{C} = 303.15^\circ\text{K}$  (Temperatura ambiente)

$C_V = 718 \text{ J/K} \cdot \text{Kg}$  (Calor especifico a volumen constante del aire)

Conociendo el volumen del cuarto, se procede a calcular la masa y a calcular la energía requerida para calentar el aire, usando la ecuación 2.25.

$$m = \rho \times V \quad (\text{Ec. 2. 25})$$

Donde,

$\rho = 1 \text{ Kg/m}^3 \therefore V = \text{Volumen del recinto de incubacion}$

De modo que,

$$m = (1 \text{ Kg/m}^3)(0.2346 \text{ m}^3) = 0.2346 \text{ Kg}$$

$$\begin{aligned} Q &= m \cdot (T_2 - T_1) \cdot C_V = (0.2336 \text{ Kg})(310.95^\circ\text{K} - 303.15^\circ\text{K}) (718 \text{ J/K} \cdot \text{Kg}) \\ &= 1308 \text{ J} \end{aligned}$$

El tiempo total del calentamiento del aire no debe ser tan brusco, ya que el choque térmico sobre los huevos puede dañarlos, razón por la cual el tiempo total de calentamiento debe ser alrededor de una hora, entonces:

$$\text{Tiempo total} = 3,600 \text{ s}$$

$$Q = 1308 \text{ J}$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{Q}{t} \quad (\text{Ec. 2. 26})$$

$$\text{Potencia requerida} = \frac{Q}{t} = \frac{1308 \text{ J}}{3,600 \text{ s}} = 0.37 \text{ W}$$

### Energía requerida por los huevos:

Se aplica la misma ecuación, se toma como masa el peso total de los huevos dentro del equipo, en total 100 huevos, cada uno pesa 70g, para un total de 7 Kg. Jimenez y Veloza (2008) explican que el huevo es 72% agua. Por tanto, para efectos de cálculo se aproximará el calor específico a volumen constante del huevo a el calor específico a presión constante del agua, de modo que:

$$C_{V\text{Huevo}} = C_{p\text{agua}} = 4.18 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}$$

$$Q = m \cdot (T_2 - T_1) \cdot C_V = (7Kg)(37.8^\circ C - 30^\circ C) \left( 4.18 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} \right) = 228.228 KJ$$

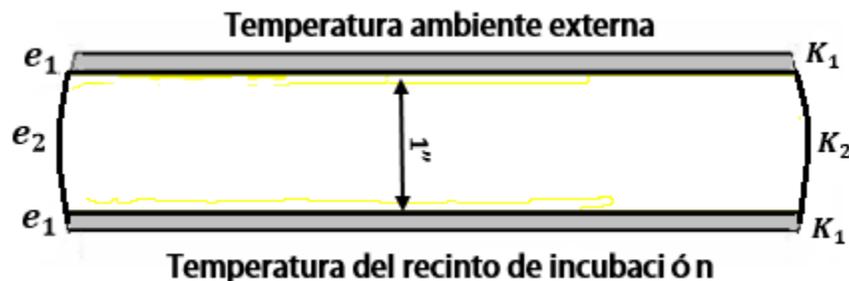
El tiempo para que los huevos alcancen los 37.8°C debe ser lo suficientemente grande para evitar efectos nocivos de un cambio brusco de temperatura, los huevos alcanzan el equilibrio térmico después de 6 horas.

$$Tiempo\ total = 21,600\ s$$

$$Q = 228.228\ KJ$$

$$Potencia\ requerida = \frac{Q}{t} = \frac{228.228KJ}{21,600\ s} = 10.6\ W$$

**Energía perdida a través de las paredes:** la pared interna del recinto de incubación tiene una separación de 1" de la pared externa, con el fin reducir las pérdidas, en la figura 2.62 se muestra la disposición de las paredes de la incubadora.



2.61: Disposición entre la pared interna de la incubadora y la pared externa. (Captura de pantalla)

La energía que se pierde a través de las paredes viene dada por la relación planteada en la ecuación 2.27.

$$P = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{e_1}{K_1 \cdot A} + \frac{e_2}{K_2 \cdot A} + \frac{e_1}{K_1 \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}} \text{ (Watts) } \quad (\text{Ec. 2. 27})$$

Donde,

$$T_1 = 30^\circ\text{C} = 303.15 \text{ }^\circ\text{K} \text{ (Temperatura ambiente externa)}$$

$$T_2 = 37.8^\circ\text{C} = 310.95 \text{ }^\circ\text{K} \text{ (Temperatura interna de la incubadora)}$$

$$h_1 = 10 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K} \text{ (coeficiente de conveccion externo)}$$

$$h_2 = 20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{K} \text{ (coeficiente de conveccion interno)}$$

$$e_1 = 0.8 \text{ mm} = 0.0008\text{m} \text{ (espesor de la lamina de acero)}$$

$$e_2 = 1" = 0.0254\text{m} \text{ (espesor de aislamiento)}$$

$$K_1 = 106 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{K} = \text{conductividad termica del zinc}$$

$$K_2 = 0.024 \text{ W/m} \cdot \text{ }^\circ\text{K} = \text{conducitividad termica del aire}$$

$$A = 0.47\text{m}^2 \text{ (Area de una cara lateral externa)}$$

Sustituyendo y evaluando se tiene que el calor perdido por las paredes es de:

$$\frac{310.95^\circ\text{K} - 303.15^\circ\text{K}}{\frac{1}{(10 \text{ W/m}^2\text{K})(0.47\text{m}^2)} + 2 \left( \frac{0.0008\text{m}}{(106 \text{ W/m} \cdot \text{K})(0.47\text{m}^2)} \right) + \frac{0.0254\text{m}}{(0.024 \text{ W/m} \cdot \text{K})(0.47\text{m}^2)} + \frac{1}{(20 \text{ W/m}^2\text{K})(0.47\text{m}^2)}}$$

$$P = 3.03\text{W}$$

$$P_{TPM} = 3.03\text{W} \times 4 \text{ paredes laterales} = 12.12 \text{ W} \text{ (Calor perdido por paredes)}$$

Para las pérdidas debido a la puerta de vidrio se utiliza una variante de la ecuación 2.27, sólo cambia la conductividad térmica que es de  $1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ , el área del vidrio que es de  $0.426 \text{ m}^2$  y el grosor del vidrio que es de  $1/8$  ", la ecuación queda de la siguiente forma:

$$P_v = \frac{T_2 - T_1}{\frac{1}{h_1 \cdot A} + \frac{e_1}{K_1 \cdot A} + \frac{1}{h_2 \cdot A}} \quad (\text{Ec. 2. 28})$$

$$P_v = \frac{310.95^\circ\text{K} - 303.15^\circ\text{K}}{\frac{1}{(10 \text{ W/m}^2\text{K})(0.426\text{m}^2)} + \frac{0.003175\text{m}}{(1 \text{ W/m} \cdot \text{K})(0.426\text{m}^2)} + \frac{1}{(20 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K})(0.426\text{m}^2)}}$$

$$P_v = 21.7\text{W} \quad (\text{Calor perdido por la puerta de vidrio})$$

Entonces el calor perdido a través de las paredes laterales y la puerta es de:

$$P_{\text{Total paredes}} = P_v + P_{\text{TPM}} = 21.7\text{W} + 12.2\text{W} = 34\text{W}$$

**Energía pérdida por humidificación:** la humidificación se logra por el vapor producido del cambio de estado del agua en el depósito, luego existe un aporte de energía para lograr cambiar el estado del agua de líquido a gaseoso, el cual debe ser calculado. Cuando se llena el depósito de agua, el líquido se encuentra fresco a una temperatura de  $25^\circ\text{C}$ . Al estar el depósito de agua en la placa inferior que recibe el calor directamente de la resistencia térmica, se midió la temperatura del agua después de 3 horas y había llegado a  $45^\circ\text{C}$ , se mantuvo estable en este valor. Entonces la energía requerida para el cambio de estado se calcula usando la ecuación 2.29.

$$Q = m \cdot \Delta h \quad (\text{Ec. 2. 29})$$

$$m = 5 \text{ L} = 5\text{Kg} \quad (\text{masa de agua presente en el recipiente a calentar})$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (\text{cambio de la entalpía del agua})$$

$$h_1 = 2547.2 \text{ KJ/Kg} \quad (\text{entalpía del agua a } 25^\circ\text{C})$$

$$h_2 = 2583.2 \text{ KJ/Kg (entalpía del agua a } 45^\circ\text{C)}$$

Sustituyendo y evaluando,

$$Q = (5\text{Kg}) (2583.2 \text{ KJ/Kg} - 2547.2 \text{ KJ/Kg}) = 180\text{KJ}$$

La potencia requerida para calentar el agua en 3 horas es de:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{180\text{KJ}}{10,800\text{s}} = 17\text{W}$$

**Energía pérdida al abrir las puertas:** para este cálculo se tuvo que hacer algo de experimentación, se calentó la incubadora hasta  $37.8^\circ\text{C}$  y luego se apagó el sistema y se abrió la puerta, le tomó 40 minutos llegar a  $30^\circ\text{C}$  nuevamente, se notó que se tarda un poco en bajar la temperatura, ya que la placa inferior del recinto y la sección donde se aloja la resistencia térmica permanecen muy calientes luego que se apaga el sistema, lo que ayuda a que la temperatura descienda lentamente.

La energía que va a perder el aire del recinto de la incubadora, hasta el equilibrio con la temperatura ambiente es de  $1308\text{J}$ , en un tiempo de  $2400\text{s}$ . Así que la potencia que se pierde al abrir la puerta es de:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{1308\text{J}}{2400\text{s}} = 0.545\text{W}$$

En la tabla 2.12 se muestra un resumen de los requerimientos energéticos descritos anteriormente.

*Tabla 2.12: Potencia requerida por el sistema*

Descripción	Potencia
<b>Potencia requerida para calentar el aire del recinto de incubación</b>	0.37W
<b>Potencia requerida por los huevos</b>	10.6W
<b>Potencia perdida por las paredes</b>	34W
<b>Potencia perdida por humidificación</b>	17W
<b>Potencia perdida al abrir las puertas</b>	0.545W
<b>Total</b>	62.515W

En base a los cálculos anteriores la resistencia térmica debe dar como mínimo un aporte de 65W, la resistencia térmica usada en este proyecto supera fácilmente estos requerimientos ya que puede disipar hasta 350W de potencia, además de su elevada potencia se seleccionó esta resistencia térmica porque es fácil de encontrar en el mercado local y su coste es bajo (menos de U\$1). En la figura 2.63 se muestra la resistencia térmica utilizada.



*2.62: Resistencia térmica utilizada ya instalada en su plato de arcilla.*

## 2.7 Costos

Aunque los componentes electrónicos usados para el desarrollo de este prototipo se encuentran en el mercado nacional, sus costos eran muy elevados, es por tal razón que la mayoría de los componentes fueron importados, aminorando sus costes considerablemente. En cambio, todos los materiales para la estructura fueron adquiridos en ferreterías locales. En la tabla 2.13 se muestra el costo de los articulo y en la tabla 2.14 el consumo energético del sistema.

Tabla 2.13: Costos de elaboración del prototipo de incubadora.

Artículos	Cantidad	Costo por artículo (C\$)	Costo total (C\$)
<b>Componentes Electrónicos</b>			
PIC18F4550	1	C\$119	<b>C\$119</b>
PUENTE RECTIFICADOR DE DIODOS 3A	1	C\$30	<b>C\$30</b>
LM7812 EMPAQUE TO-220	1	C\$16.00	<b>C\$16</b>
LM7805 EMPAQUE TO-220	1	C\$16.00	<b>C\$16</b>
78L05 EMPAQUE TO-92	1	C\$9	<b>C\$8.7</b>
RTC-DS1307	1	C\$28	<b>C\$28</b>
LM35DZ	3	C\$20.23	<b>C\$60.69</b>
HIH4000	1	C\$422.23	<b>C\$422.23</b>
BTA12-600BW3	1	C\$40.4	<b>C\$40.4</b>
MOC3020	1	C\$23.4	<b>C\$23.4</b>
TCA785	1	C\$28.66	<b>C\$28.66</b>
LM324	1	C\$4.32	<b>C\$4.32</b>
L293D	1	C\$12.76	<b>C\$12.76</b>
CRISTAL 20 MHZ	1	C\$4.50	<b>C\$4.5</b>
Capacitor Electrolítico 1uF 15V	3	C\$5	<b>C\$15</b>
Capacitor Electrolítico 3300uF 50V	1	C\$41.74	<b>C\$41.74</b>
Capacitor Cerámico 0.1uF	6	C\$10	<b>C\$60</b>
Capacitor Cerámico 0.33uF	3	C\$10	<b>C\$30</b>
Capacitor Cerámico 10 nF	2	C\$7.23	<b>C\$14.46</b>
Capacitor Cerámico 22pF	2	C\$1	<b>C\$2</b>
Capacitor Cerámico 0.47uF	2	C\$9	<b>C\$18</b>
Capacitor Cerámico 150pF	1	C\$5	<b>C\$5</b>
Capacitor Cerámico 1uF	1	C\$15	<b>C\$15</b>
Resistencias 1/4 W de diferentes valores	23	C\$3	<b>C\$69</b>
Potenciómetro 5KΩ	1	C\$25	<b>C\$25</b>
Diodo 1N4007	6	C\$4	<b>C\$24</b>
LED RGB	1	C\$7	<b>C\$7</b>
Pushbuttons SW-730RD	5	C\$13.92	<b>C\$69.6</b>

Interruptor SW-282	1	C\$58.27	<b>C\$58.27</b>
LCD 16x2	1	C\$48.92	<b>C\$48.92</b>
Transformador 24VAC/3A	1	C\$342.61	<b>C\$342.61</b>
Motor DC 12V 0.6 RPM	1	C\$240	<b>C\$240</b>
Ventilador Intel D34223	1	C\$204	<b>C\$204</b>
Resistencia Térmica 350W	1	C\$20	<b>C\$20</b>
Cable ATA 40cm	1	C\$27.89	<b>C\$27.89</b>
<b>Materiales de Estructura</b>			
Lamina Zinc liso 4x8 ft calibre 22	2	C\$519.31	<b>C\$1038.62</b>
Tubo industrial cuadrado 1" CH-18	4	C\$136	<b>C\$544</b>
Tubo Rectangular 1"x2" CH-20	2	C\$167.11	<b>C\$334.22</b>
PG	1	C\$35	<b>C\$35</b>
Perno Hexagonal galvanizado 1/4" x 1"	36	0.87	<b>C\$31.32</b>
Cable Protoduro de 3 líneas	2	C\$30	<b>C\$60</b>
Conector AC Macho Polarizado	1	C\$25	<b>C\$25</b>
Cable Dúplex 2x14	2	C\$15	<b>C\$30</b>
Sierra Sandflex Bimetal 12x18	2	C\$33.72	<b>C\$67.44</b>
Soldadura Lincoln 6013-3/32	2	C\$59.79	<b>C\$119.58</b>
Lamina Plywood 1/8"	1	C\$200	<b>C\$200</b>
Vidrio 22"x 30"x6mm	1	C\$600	<b>C\$600</b>
Cartucho de Silicón Industrial	1	C\$100	<b>C\$100</b>
Esmalte Fast-Dry Rojo 1/4 Gl	1	C\$170	<b>C\$170</b>
Esmalte Fast-Dry Blanco 1/4 Gl	1	C\$170	<b>C\$170</b>
Galon de Zener	1	C\$180	<b>C\$180</b>
Plato de Arcilla	1	C\$25	<b>C\$25</b>
Bisagra de latón satinado 2 1/2" x 2 1/2"	2	C\$55.66	<b>C\$111.32</b>
<b>Otros</b>			
Ácido Muriático	1	C\$70	<b>C\$70</b>
Ácido Peróxido	1	C\$60	<b>C\$60</b>
PCB Fibra de Vidrio	3	C\$60	<b>C\$180</b>
Estaño	1	C\$20	<b>C\$20</b>
Paquete de 10 piezas de terminal de bloque doble PIN	1	C\$35.95	<b>C\$35.95</b>
Paquete de 10 piezas de terminal de bloque triple PIN	1	C\$39.45	<b>C\$39.45</b>
Paquete de 10 piezas conectores tipo macho para PCB	1	C\$27.90	<b>C\$27.9</b>
Paquete de 10pcs conectores tipo hembra para PCB	1	C\$38.87	<b>C\$38.87</b>
Zócalo DIP40	1	C\$35	<b>C\$35</b>
Paquete de 10 piezas de zócalo DIP16	1	C\$27.98	<b>C\$27.98</b>
<b>Mano de obra</b>			<b>C\$6,000</b>
<b>TOTAL</b>			<b>C\$12528.8</b>

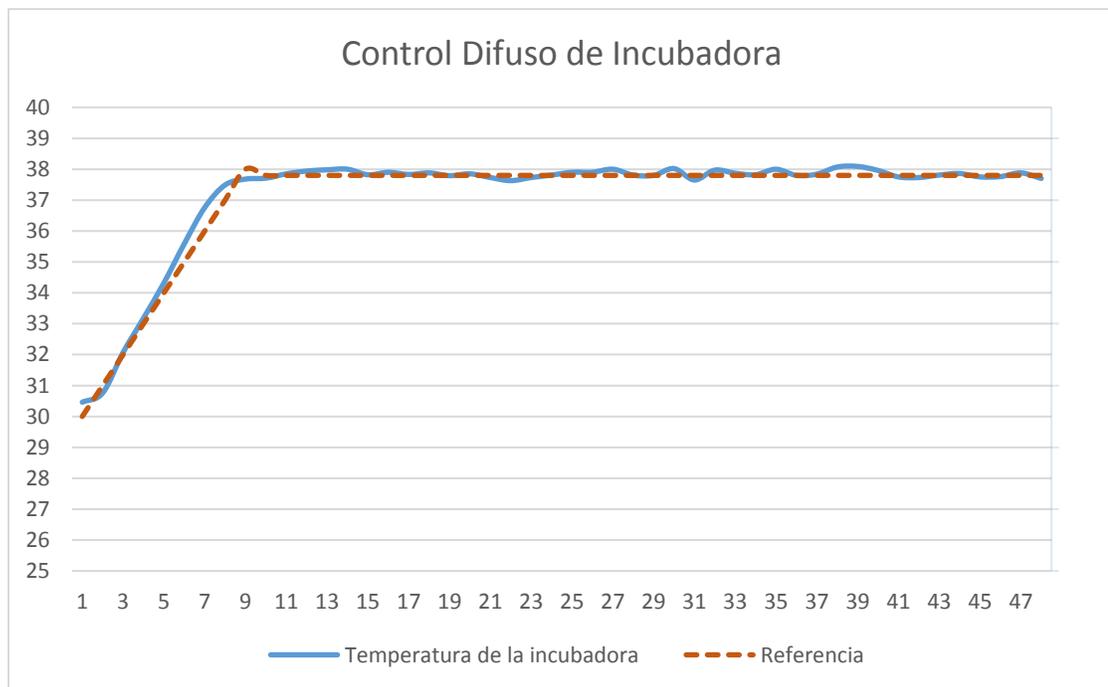
Tabla 2.14: Consumo energético del sistema

Consumo Energético		
Elemento	Corriente	Potencia
Circuitería Electrónica	215.26 mA	3W
Resistencia Eléctrica	3A	210W
Motor	0.1A	1.2W
Ventilador	0.42A	5.05W
<b>Total</b>		<b>219.25W</b>

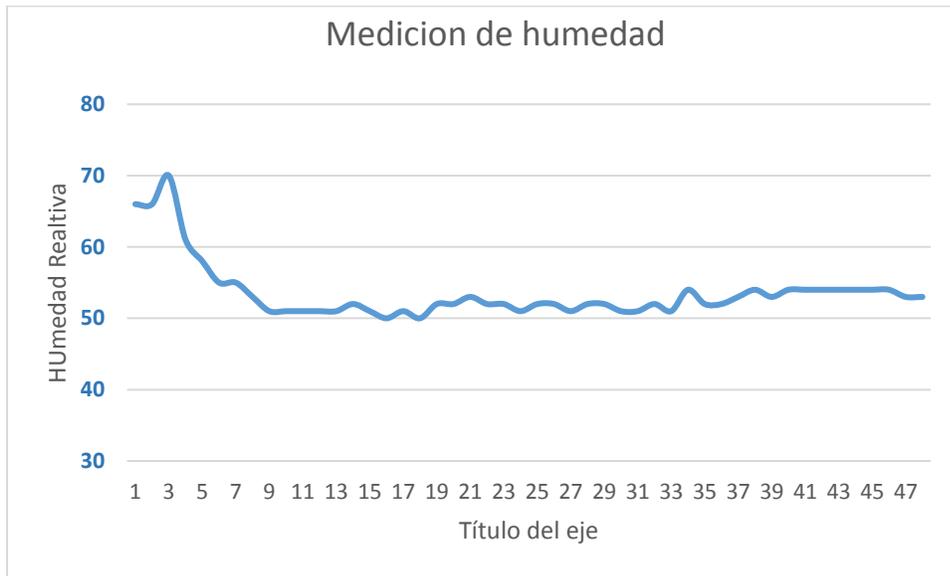
El consumo energético será aproximadamente de 220W. Aunque la capacidad de la resistencia térmica es de 350W, nunca se usa al máximo ya que el sistema no lo requiere. Experimentalmente se midió el voltaje y la corriente de la resistencia térmica en una operación típica y se determinó que es de aproximadamente 210W.

## 2.8 Resultados obtenidos

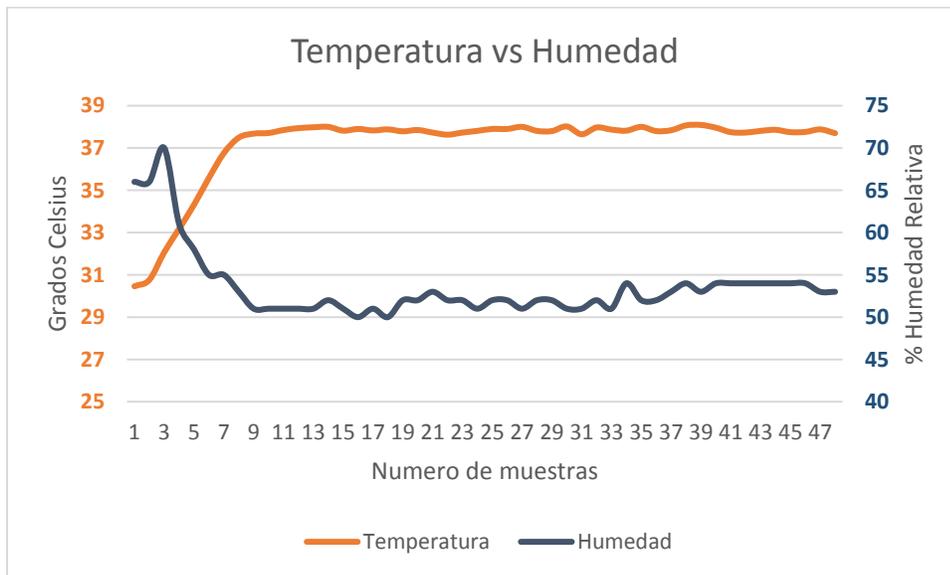
El resultado del presente proyecto fue un prototipo de incubadora funcional de bajo costo, cuyo sistema de control está basado en lógica difusa. En las figuras 2.64, 2.65 y 2.66 se muestran los resultados de una prueba de control cuya duración fue de 4 horas. Asimismo, en las figuras 2.70 se muestra el prototipo ya finalizado.



2.63: Resultados de controlador difuso



2.64: Medición de Humedad



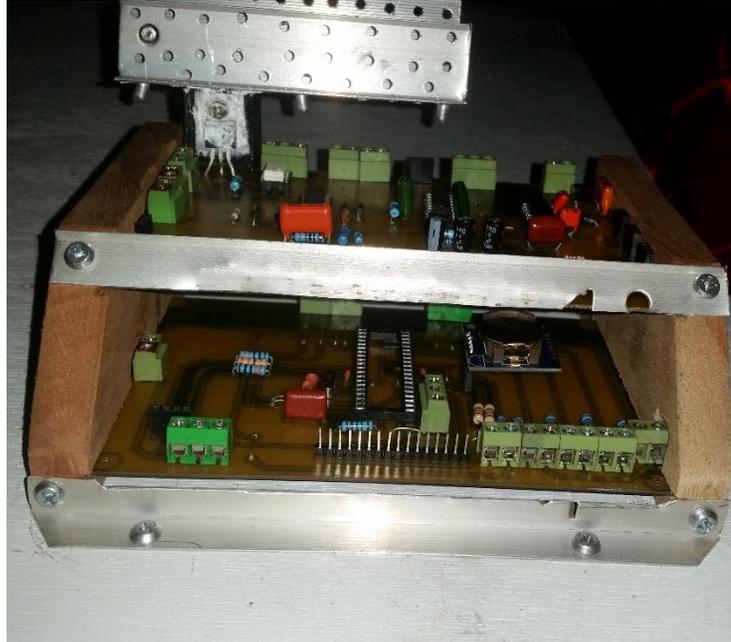
2.65: Temperatura vs Humedad



2.66: Prueba física, medición de sensores



2.67: Fuente de Alimentación DC



*2.68: Interfaz Digital y Analógica*



*2.69: Incubadora de huevos finalizada*

### **3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **Conclusiones:**

En base a los objetivos que fueron propuestos durante la fase inicial de este proyecto y los resultados obtenidos, se enuncian las siguientes conclusiones:

- ✓ Se realizó el diseño y la construcción de la incubadora automática de huevos de aves de corral con capacidad de 100 huevos, con calidad satisfactoria y prestaciones similares a las incubadoras comerciales con todos sus módulos y características anteriormente explicados en este documento, permitiendo la medición de las variables de interés, así como las acciones correctivas del controlador para mantener el microambiente dentro de la incubadora para el correcto desarrollo embrionario.
- ✓ Se diseñó satisfactoriamente cada uno de los subsistemas de la incubadora y se verificó el correcto funcionamiento de estos subsistemas mediante simulación.
- ✓ Se verificó el funcionamiento correcto de los subsistemas de la incubadora al realizar pruebas en tabla de nodos, se corrigieron errores en los subsistemas y realizaron mejoras para prevenir fallos potenciales en el proceso de incubación.
- ✓ Se diseñó y construyó la estructura de la incubadora de forma tal que esta fuera robusta, durable y económica.
- ✓ Se diseñaron los circuitos impresos de la incubadora de forma adecuada, siguiendo normas y recomendaciones para atenuar problemas de ruido eléctrico, además se verificó el funcionamiento de los circuitos mediante diversas pruebas de extendida duración.
- ✓ Se diseñó e implementó las interfaces de comunicación USB y monitoreo mediante red LAN utilizando información disponible en las diversas fuentes consultadas, apoyándonos con herramientas de simulación, diseño y compilación.

- ✓ Se desarrolló exitosamente el sitio web, el cual permite la visualización de los datos medidos a través de gráficos y tablas, el almacenamiento de la información en una base de datos y su contenido puede ser borrado y/o exportado a Excel para facilitar la gestión del avicultor.
- ✓ Se verificó el funcionamiento del sistema en su totalidad mediante una prueba de larga duración (21 días ininterrumpidos), en los cuales se pudo verificar el cumplimiento de los requerimientos y especificaciones establecidas.

### **Recomendaciones:**

El sistema de incubación artificial desarrollado cuenta con una gran capacidad de control, diversas funciones automáticas y de comunicación, pero es necesario implementar algunas mejoras y adquirir ciertos conocimientos con el objetivo de obtener un mayor rendimiento e incrementar las prestaciones del sistema. Es por tal razón que se hacen las siguientes recomendaciones dirigidas dos grupos de interés:

#### **A los avicultores que usen el sistema:**

1. Leer previamente el protocolo de uso y mantenimiento del sistema de incubación artificial incluidos en el anexo A.
2. Leer sobre el examen de ovoscopia y el desarrollo de los embriones a lo largo de los 21 días de incubación, incluidos en el anexo C de este documento, con el fin de realizar correctamente el examen de ovoscopia y la embriodiagnos, a mediados y al final del proceso de incubación, respectivamente.
3. Estudiar el manual de incubación Cobb-Vantress, presente en la bibliografía de esta tesis, con el fin de comprender que otros factores, además de los descritos en la sección 1.2, intervienen en el éxito de la incubabilidad de un lote de huevos fértiles, entre otras sugerencias importantes que aporta el manual al productor avícola que está empezando a incubar huevos.

### **A los estudiantes de Ingeniería Electrónica:**

1. Implementar un sistema de alarmas que advierta al avicultor sobre alguna falla en los actuadores, circuitería electrónica o estructura.
2. Desarrollar un sistema de llenado automático de la bandeja de agua, con el fin de aumentar la autonomía del sistema de incubación.
3. Agregar al sistema de incubación un sistema de respaldo eléctrico que suministre la electricidad necesaria a la incubadora, en caso de que falle la alimentación comercial.
4. Siguiendo las tendencias actuales de IoT (Internet of Things), se recomienda darle salida de internet al sistema de incubación artificial, asimismo adicionar capacidades de interacción al sistema de monitoreo para que el avicultor pueda monitorear e intervenir en el proceso de incubación en curso, prácticamente desde cualquier lugar.

## 4 BIBLIOGRAFÍA

- Anim, J. (2012). *Effect of Turning Duration of Incubated Eggs on Hatchability, Embryonic Mortality and Chick's Viability*. Assiut University, Department of Animal and Poultry Production, Faculty of Agriculture, Assiut, Egypt. Obtenido de [http://www.aun.edu.eg/uploaded\\_full\\_txt/14579\\_full\\_txt.pdf](http://www.aun.edu.eg/uploaded_full_txt/14579_full_txt.pdf)
- Archambeault, B. (2008). PART II Resistive vs. Inductive Return Current Paths. *Design Tips*. Obtenido de <http://www.emcs.org/acstrial/newsletters/fall08/tips.pdf>
- Bentley, J. (2005). *Principles of Measurement Systems*. Harlow, Essex, England: Pearson Education Limited.
- Bibeault, B., Katz, Y., & De Rosa, A. (2015). *jQuery IN ACTION* (Third ed.). Shelter Island, New York, USA: Manning Publications.
- 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 electronicos* (Decima ed.). Mexico: Pearson.
- Brown, M. (2001). *Power Supply Cookbook*.
- Bruzual, J., Peak, S., Brake, J., & Peebles, E. (2000). Effects of Relative Humidity During Incubation on Hatchability and Body Weight of Broiler Chicks from Young Breeder Flocks. *Poultry Science*. Obtenido de <http://ps.oxfordjournals.org/content/79/6/827.full.pdf>
- Campos Perez, M. M., & Hernandez Lopez, C. G. (2013). *Diagnostico situacional del sector de pequeños y medianos productores avicolas de huevos de mesa en Nicaragua*. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Agraria, Facultad de Ciencia Animal, Masaya, Nicaragua.
- COBB. (2013). *Guía de manejo de la incubadora*. Obtenido de [cobb-vantress.com](http://cobb-vantress.com)
- Cómo eliminar ruidos eléctricos en microcontroladores Pic*. (2016). Obtenido de Kitelectronica: <http://www.kitelectronica.com/2016/03/eliminar-ruidos-electricos-pic.html>
- Cox, E. (1994). *The Fuzzy Systems Handbook a practitioner's guide to building, using and maintaining fuzzy systems*. Chesnut Hill, Massachusetts, USA: AP Professional .

- Cruz, A. C., & Arenas Rosales, O. (2011). *SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA INCUBADORA AVÍCOLA*. Tesis de Licenciatura, Universidad Autonoma de Zacatecas, Unidad Academica de Ingenieria Electrica, Zacatecas, Mexico. Obtenido de [http://ice.uaz.edu.mx/c/document\\_library/get\\_file?uuid=16eaf7c5-e1e6-44c2-a4c6-16f542e08032&groupId=54327](http://ice.uaz.edu.mx/c/document_library/get_file?uuid=16eaf7c5-e1e6-44c2-a4c6-16f542e08032&groupId=54327)
- Cuidado e incubación de los huevos fértiles*. (2013). Obtenido de El sitio Avicola: <http://www.elsitioavicola.com/articulos/2496/cuidado-e-incubacion-de-los-huevos-fartiles/>
- Davis, T. (1987). *The effects of variation in egg water loss on the chick embryo and its fluid compartments*. Phd. Thesis, Iowa State University, Zoology, Ames, Iowa: USA. Obtenido de <http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9630&context=rtd>
- Di Lella, D. (2010). *Ruidos en los sistemas con MCU's*. Obtenido de [www.edudevices.com.ar](http://www.edudevices.com.ar)
- El Mito de las Conexiones de Masa, Tierra y Chasis*. (12 de Marzo de 2013). Obtenido de Revista Española de Electronica: <http://www.redeweb.com/articulos/articulo.php?id=1116>
- Espinoza L. f & Matey M. S. . (2009). *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.
- Fortunato, M. (2012). *TUTORIAL 5450 El éxito de puesta a tierra con PCB Mixed-Signal Chips-Seguir el camino de menor impedancia*. Obtenido de <http://smdelectronicayalgomas.blogspot.com/2012/10/tutorial-5450-el-exito-de-puesta-tierra.html#.WEpYV30dZW5>
- French, N. A. (1997). *Modeling Incubation Temperature: The Effects of Incubator Design, Embryonic Development, and Egg Size*. Poultry Science. doi:10.1093/ps/76.1.124
- Garnica Albor, J., & Martinez Lopez, V. A. (2011). *Diseño y control de temperatura-humedad en incubadora de huevos*. Tesis de Ingenieria, Universidad Nacional Autonoma de Mexico, Mexico D.F, Mexico.
- Gauchat , J. D. (2012). *El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript*. Barcelona , España: Marcombo Ediciones Tecnicas.
- Ibrahim, D. (2002). *Microcontroller based temperature monitoring and control*. Oxford, Great Britain: Elsevier Science & Technology Books.

- IPC. (2003). *IPC-2221A: Generic Standard on Printed Circuit Boards*. Illinois.  
Obtenido de  
[http://sisko.colorado.edu/CRIA/FILES/REFS/Electronics/IPC\\_2221A.pdf](http://sisko.colorado.edu/CRIA/FILES/REFS/Electronics/IPC_2221A.pdf)
- Jimenez J. A. & Veloza J. F. (2008). *Modelo funcional de una incubadora de huevos para la industria avicola. Tesis de ingenieria, Universidad industrial de Santander*. Bucaramanga, Colombia.
- Kurose, J. F., & Ross, K. W. (2013). *COMPUTER NETWORKING A Top-Down Approach*. New Jersey, USA: Pearson.
- Passino, K., & Yurkovich, S. (1998). *Fuzzy Control*. Menlo Park, California, USA: Addison-Wesley.
- Pavon, J. (2013). *Bootstrap 3.0*. Universidad Complutense Madrid, Facultad de Informática, Madrid, España. Obtenido de  
<http://www.fdi.ucm.es/profesor/jpavon/web/26-Bootstrap.pdf>
- Python Documentation contents*. (2016). Obtenido de Python Software Foundation: <https://docs.python.org/2/contents.html>
- Rahn, H., & Ar, A. (1974). *THE AVIAN EGG: INCUBATION TIME AND WATER LOSS*. State University of New York at Buffalo, Department of Physiology, School of Medicine, Buffalo, New York: USA. Obtenido de  
<https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/condor/v076n02/p0147-p0152.pdf>
- 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*.
- Servidor HTTP Apache*. (29 de Junio de 2016). Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Servidor\\_HTTP\\_Apache](https://es.wikipedia.org/wiki/Servidor_HTTP_Apache)
- Ubuntu*. (6 de Junio de 2016). Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Ubuntu#cite\\_note-3](https://es.wikipedia.org/wiki/Ubuntu#cite_note-3)
- 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>
- Van Der Pol, C. (2012). *Effect of Relative Humidity during Incubation at a Set Eggshell*. Wageningen University, Adaptation Physiology Group, Wageningen, The Netherlands. Obtenido de  
<http://hatchtechgroup.com/media/documenten/effectofrelativehumidityataseteggshelltemperature.pdf?lang=es>

Zadeh L. A. (1973). Outline of a New Approach to the Analysis of Complex Systems and Decision Processes. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, Vol. SMC-3. Obtenido de <https://people.eecs.berkeley.edu/~zadeh/papers/1973-Outline%20of%20a%20New%20Approach%20to%20the%20Analysis%20of%20Complex%20Systems%20and%20Decision%20Processes.pdf>

# ANEXOS

---

## A- Manual de uso y mantenimiento de la incubadora

### Protocolo para iniciar un ciclo de incubación exitoso:

- ✓ Ubicar la incubadora cerca de la alimentación comercial, en un lugar libre de corrientes de aire, exposición solar y lluvias.
- ✓ Limpiar el recinto de incubación con un trapo húmedo, removiendo polvo o toda clase de suciedad. No usar ningún agente químico para evitar la contaminación del área de incubación.
- ✓ Llenar el recipiente de agua y colocarlo en la parte inferior del recinto de incubación.
- ✓ Ubicar los huevos fértiles en las bandejas de incubación, con su parte más angosta en dirección hacia abajo.
- ✓ Conectar la incubadora a la alimentación comercial (120 VAC).
- ✓ Activar el interruptor de encendido/apagado de la incubadora que se muestra en la figura A.1.
- ✓ Mediante la combinación de botones ARRIBA + OK + ABAJO activar la configuración de fecha y hora del sistema y configurar el reloj de la incubadora con la fecha y hora actuales.
- ✓ Mediante la combinación de botones ARRIBA + ABAJO configurar el contador de días y ponerlo en cero, luego se da por iniciado el proceso de incubación.
- ✓ Mediante la combinación de botones ABAJO + OK y ARRIBA + OK se puede activar y desactivar, respectivamente, las funciones opcionales de comunicación USB de la incubadora.
- ✓ Rellenar el recipiente de agua cada 24 horas.
- ✓ Luego de 10 días de incubación, ubicar las bandejas en posición horizontal mediante la combinación de botones ABAJO + INT y retirar los huevos para realizarles el examen de ovoscopia, con el fin de descartar los huevos infértiles y no viables. Una vez realizada la ovoscopia, ubicar nuevamente los huevos viables en las bandejas de incubación siempre con su parte más angosta hacia abajo. Cabe señalar que este proceso debe realizarse de la

forma más rápida posible para evitar que el embrión sufra un choque térmico muy prolongado del ambiente exterior a menor temperatura, asimismo el huevo debe manejarse con cuidado ya que la cáscara es más débil que al inicio del proceso.

- ✓ A los 18 días de incubación se detendrá el volteo de forma automática, en este momento se deben trasladar los huevos de las bandejas de incubación a la nacedora, ubicándolos sobre su costado para facilitar los movimientos del embrión que ayudan a romper el cascarón.
- ✓ Añadir una bandeja extra de agua a partir del día 18 de incubación, siempre rellenando ambas bandejas cada 24 horas.
- ✓ Una vez transcurrido los 21 días del proceso, retirar la nacedora con los pollitos nacidos para alimentarles y darles de beber agua.
- ✓ En caso de haber embriones que han picado el cascarón, pero no han nacido, dar un tiempo extra de calentamiento de 6 horas.
- ✓ Una vez finalizado el proceso, limpiar el recinto de incubación.



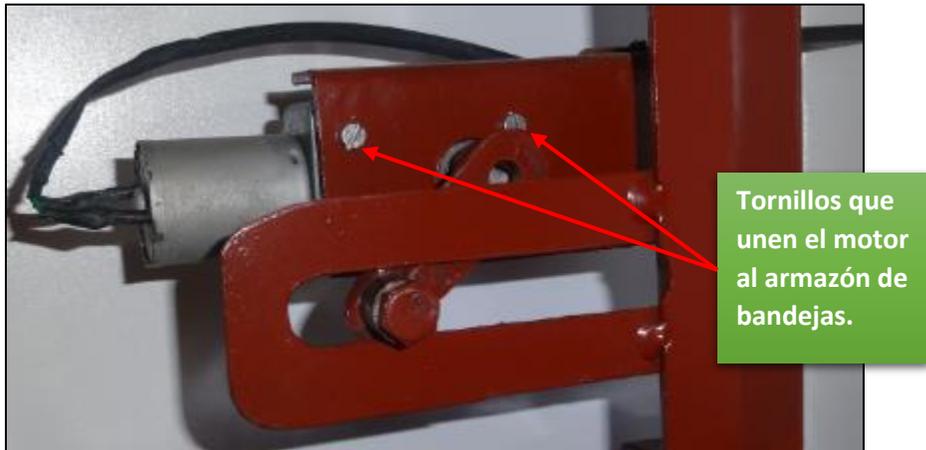
A. 1: Panel de control e interfaz de usuario

## Sugerencias de reparación y mantenimiento.

- ✓ Limpiar las hélices del ventilador y aceitarlo para alargar su vida útil.
- ✓ Evitar que se acumule polvo en el eje del motor limpiándolo periódicamente, asimismo aceitar el eje del motor cada 3 meses.
- ✓ En caso de que el motor se dañe debido a que ya cumplió su vida útil, reemplazarlo es muy sencillo, hace falta sacar la armazón de bandejas del recinto de incubación, esto se hace al quitar los 4 pernos que unen la armazón de las bandejas a la estructura, estos pernos se muestran en la figura A.2. Una vez que la armazón este fuera, sólo falta quitar los tornillos que unen el motor al armazón y reemplazarlo, dichos tornillos se muestran en la figura A.3.
- ✓ Si el ventilador se daña y se hace necesario reemplazarlo, se logra fácilmente quitando los tornillos que se muestran en la figura A.4.
- ✓ Si se requiere cambiar la resistencia térmica por una nueva, habrá que retirar toda la placa posterior de la incubadora, lo cual se logra quitando los tornillos que unen dicha placa a la estructura, luego se tiene fácil acceso a la cavidad de la resistencia térmica para su reemplazo.

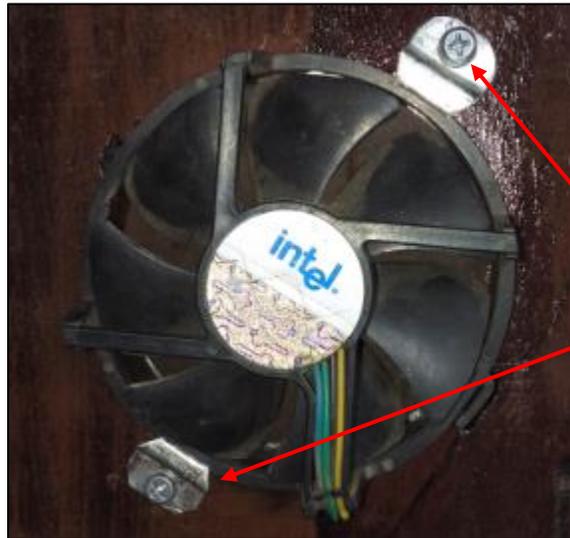


A. 2: Pernos que unen el armazón de bandejas a la estructura principal.



Tornillos que unen el motor al armazón de bandejas.

A. 3: Tornillos que unen el motor al armazón de bandejas.



Tornillos que sostienen el ventilador.

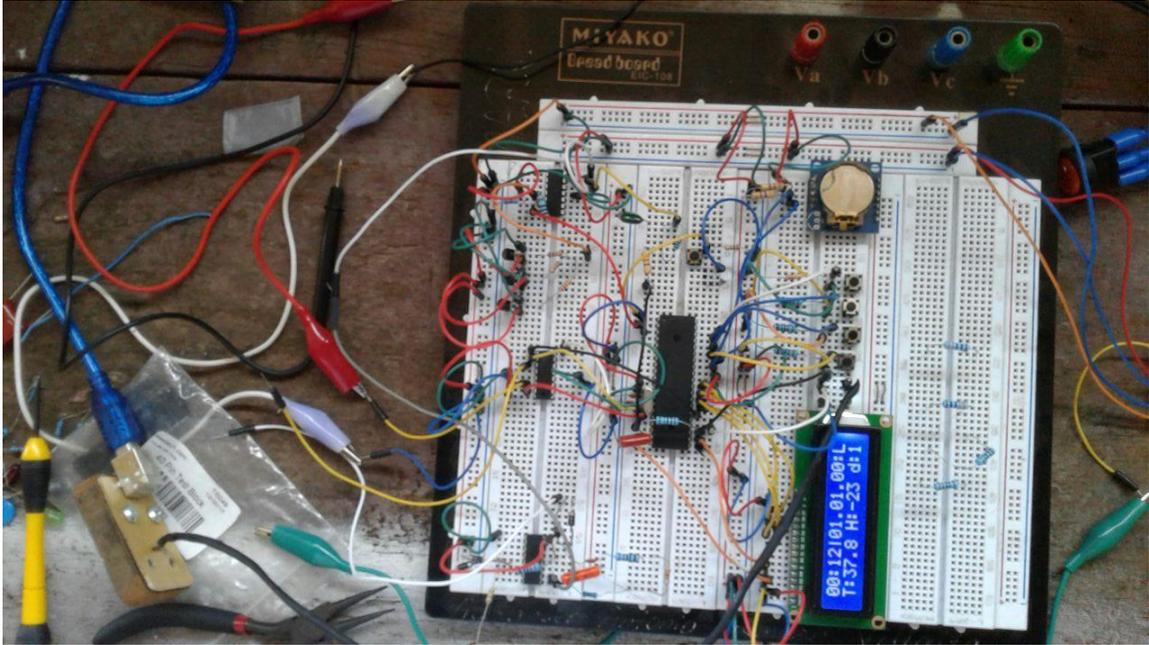
A. 4: Tornillos que sostienen el ventilador



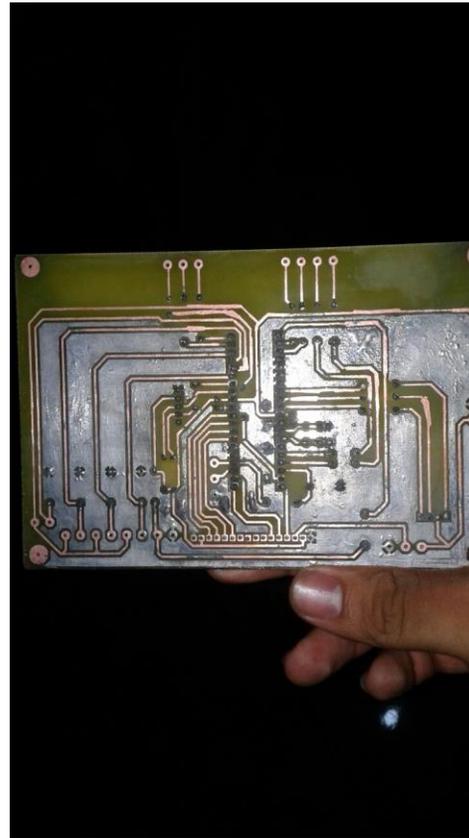
Pernos que sostienen la resistencia

A. 5: Pernos de resistencia térmica.

## B- Construcción de prototipo de incubadora



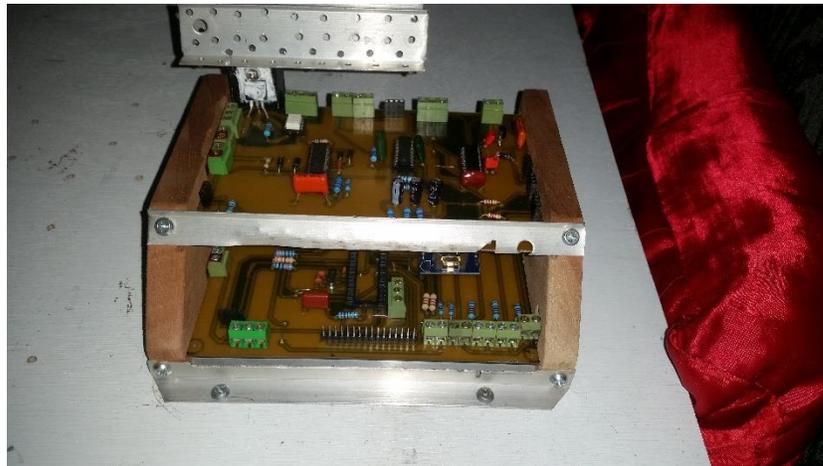
B. 1: Prueba en tabla de nodos de las funciones básicas de la incubadora.



B. 2: Elaboración de circuitos impresos



*B. 3: Circuitos impresos pintados para evitar corrosión de las pistas de cobre.*



*B. 4: Circuitos de la incubadora finalizados.*



*B. 5: Mitad del armazón de bandejas.*



*B. 6: Armazón de bandejas recién terminado.*



*B. 7: Esqueleto estructural de la incubadora e incubadora con sus paredes.*



*B. 8: Trabajando en la parte trasera de la incubadora.*



*B. 9: Parte delantera de la incubadora.*



*B. 10: Incubadora finalizada.*

### C- Desarrollo embrionario y proceso de ovoscopia.

#### Desarrollo del embrión aviar a lo largo del proceso de incubación.



Huevo Infértil, no hay desarrollo.



**Día 1**  
Presencia de desarrollo de tejido



**Día 2**  
Desarrollo del tejido muy visible y presencia de vasos sanguíneos.



**Día 3**  
Latidos del corazón, vasos sanguíneos muy visibles.



**Día 4**  
Ojo pigmentado.



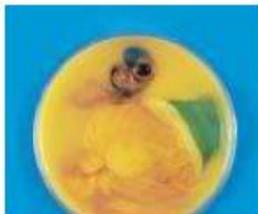
**Día 5**  
Presencia de codos y rodillas.



**Día 6**  
Presencia del pico, comienzan movimientos voluntarios.



**Día 7**  
Empieza el crecimiento de la cresta y la punta del pico.



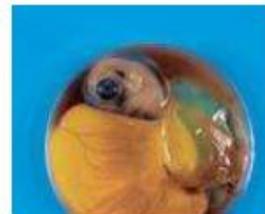
**Día 8**  
Inicia desarrollo de pluma. Pico superior e inferior de igual longitud.



**Día 9**  
Embrión empieza a parecerse a un ave. Aparece apertura de la boca.



**Día 10**  
Punta del pico es prominente, se forman las uñas.



**Día 11**  
Cresta aserrada, se evidencian plumas en la cola.



**Día 12**  
Dedos formados completamente, presencia de las primeras plumas.



**Día 13**  
Presencia de queratina en los tarsos, cuerpo cubierto ligeramente con plumas.



**Día 14**  
Embrión gira la cabeza hacia el extremo más largo del huevo.



**Día 15**  
Intestinos se ubican en la cavidad abdominal



**Día 16**  
Plumas cubren el cuerpo completo, Albumen casi desaparece.



**Día 17**  
Disminución del fluido amniótico, la cabeza esta entre las piernas.



**Día 18**  
Desarrollo del embrión casi completo. Saco vitelino aun fuera del embrión, cabeza debajo del ala derecha.



**Día 19**  
Saco vitelino entra a la cavidad corporal, fluido amniótico desaparece. Embrión ocupa la mayor parte del espacio del huevo (no en la cámara de aire).

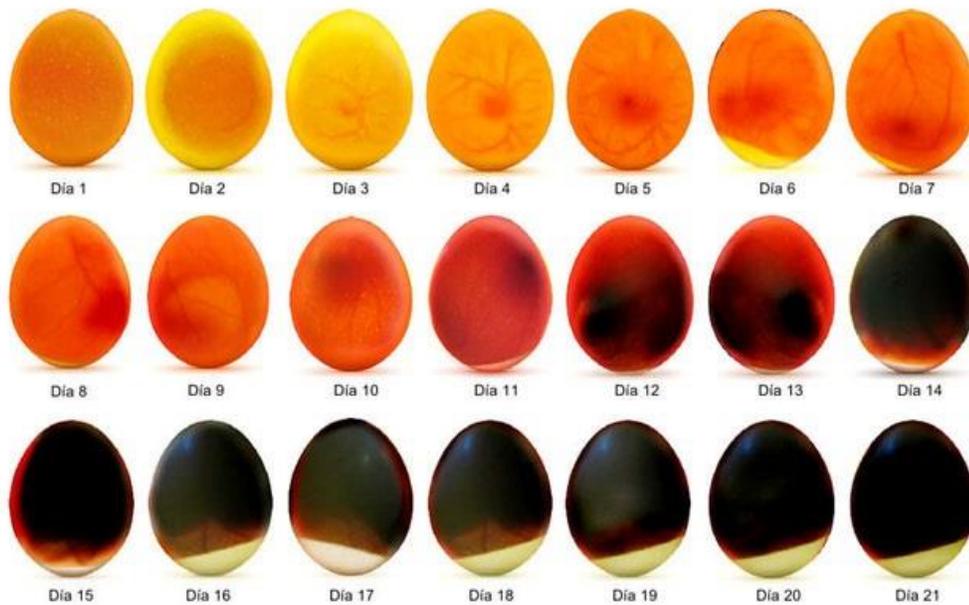
**Día 20**  
Saco vitelino entra totalmente dentro del cuerpo, el embrión se convierte en polluelo (respirando en la cámara de aire), picoteo de cascara interna y externa.



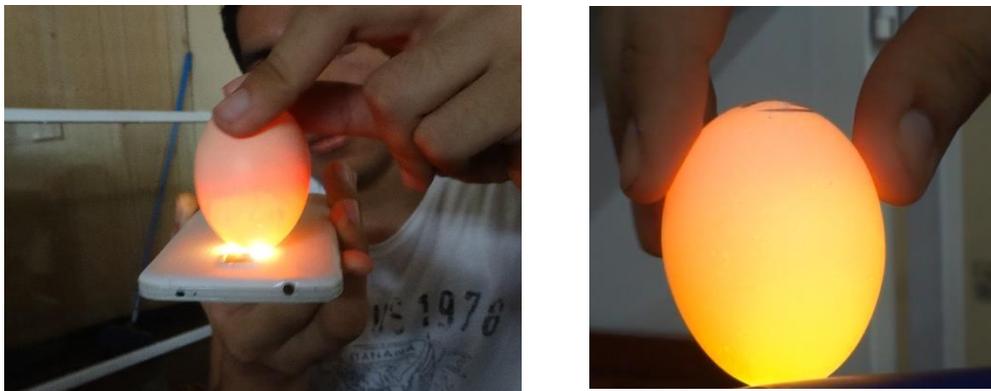
**Día 21**  
Nace el pollito satisfactoriamente

**Ovoscopía:** La ovoscopía es la técnica utilizada para observar el contenido de un huevo a trasluz para poder identificar así a los huevos infecundos y los huevos con mortalidad embrionaria temprana. Este procedimiento se realiza en el décimo día de incubación, aunque desde el sexto día se puede saber si un huevo es fértil o no. Sin embargo, se mantiene la práctica de realizar la ovoscopía en el décimo día para descartar además de los huevos infértiles a los embriones inviables. En la figura C.1 se muestra como se verían los huevos al realizarles el proceso de ovoscopía a lo largo del proceso de incubación y en la figura C.2 se muestra la diferencia entre un huevo fértil y un huevo infértil.

### Progreso de incubación, ovoscopio de pollo



C. 1: Ovoscopía de huevos a lo largo del proceso de incubación. Tomado de: <https://www.tri-tro.com>



C. 2: Ovoscopía de huevo fértil y de huevo infértil.

