



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

DISEÑO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA NACEDORA PARA POLLOS

Carlos Alejandro Alonzo De León

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Guatemala, junio de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA NACEDORA PARA POLLOS

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

CARLOS ALEJANDRO ALONZO DE LEÓN

ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

GUATEMALA, JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

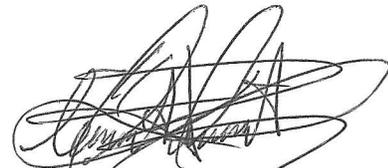
DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier González López
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Durán Córdova
EXAMINADOR	Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA NACEDORA PARA POLLOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 4 de noviembre de 2013.



Carlos Alejandro Alonzo De León

Guatemala 9 de Febrero de 2016

Ingeniero

Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador del area de Electrónica
Escuela de Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
USAC

Apreciable Ingeniero:

Por este medio hago de su conocimiento que he revisado el trabajo de graduación del estudiante de la carrera de ingeniería electrónica Carlos Alejandro Alonzo De León quien se identifica con el carnet 200318973, dicho trabajo se titula: "Diseño de máquina automática nacedora para pollos", y a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo según el protocolo, por lo cual como asesor apruebo su contenido.

Sin otro particular me despido, atentamente.

Ing. Byron Arrivillaga Méndez
Col. 5217

Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Ing. Electrónico

Colegiado No.5217

Asesor



REF. EIME 22. 2016.
Guatemala, 16 de febrero 2016.

FACULTAD DE INGENIERIA

Señor Director
Ing. Francisco Javier González López
Director Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
DISEÑO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA NACEDORA PARA
POLLOS, del estudiante Carlos Alejandro Alonzo De León,
que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Eduardo Guzmán Salazar
Coordinador Área Electrónica



SRO



REF. EIME 22. 2016.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; CARLOS ALEJANDRO ALONZO DE LEÓN Titulado: DISEÑO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA NACEDORA PARA POLLOS, procede a la autorización del mismo.

Ing. Francisco Javier González López



GUATEMALA, 14 DE ABRIL 2016.

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.D.273-2016

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE MÁQUINA AUTOMÁTICA NACEDORA PARA POLLOS**, presentado por el estudiante universitario: **Carlos Alejandro Alonzo De León**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano



Guatemala, junio de 2016

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios Padre	Por ser mi creador, a quien debo mi existencia y las habilidades que poseo.
Jesús	Por ser mi redentor, amigo, maestro e inspiración para todo en mi vida.
Espíritu Santo	Quien es el motor de todo lo bueno que he hecho en la vida.
María Santísima	Por su intercesión amorosa, sin la cual todo es más difícil.
Mis padres	Carlos Alonzo y América De León. Su amor y apoyo siempre ha sido incondicional.
Mi hermano	Wagner Alonzo, por ser un ejemplo en mi vida.
Mi hermana	Nancy Alonzo, por ser un ejemplo en mi vida.
Mis tías	Ecloi Altamirano y Gladys Alonzo, por su cariño.
Mi madrina	Obdulia Romero, por su cariño.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Porque toda la ayuda recibida durante mi carrera ha sido una manifestación de su mano amorosa.
María Santísima	Por su súplica incesante ante Dios, por este pobre pecador.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por haberme brindado la oportunidad de pertenecer orgullosamente a tan insigne casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por haber sido el lugar donde he aprendido más sobre mi carrera, sobre la vida.
Mi asesor	Por sus consejos e instrucciones para la realización de este trabajo.
Mis amigos	Salvador López, Gabriel Montenegro, Gustavo Pineda, Luis Hernández, Manolo Valladares, Salomón Esquit, Carlos Hernández, Baudilio Boteo y demás, por las buenas experiencias compartidas en los laboratorios, proyectos y exámenes durante la carrera.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXIII
1. PRINCIPIOS Y TEMAS RELACIONADOS CON LA MAQUINARIA AVÍCOLA.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Máquina nacedora.....	4
1.2.1. Parámetros clave en la máquina nacedora	9
1.3 Estudio y diseño del armario de la máquina nacedora.....	12
1.4 Razas y características de nacimiento de aves más criadas en el país.....	30
2. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES	35
2.1. Introducción	35
2.2. Objetivos de la automatización de procesos	36
2.3. Etapas de un proceso automatizado	37
2.4. Factores para la elección de dispositivos	39
2.5. Etapas de censado.....	41
2.5.1. Transductores.....	41
2.5.1.1. Elección de los transductores para el censado	45

2.6.	Etapa operativa	50
2.6.1.	Actuadores	51
2.6.1.1.	Elección de los actuadores para la etapa operativa.....	51
2.7.	Etapa de control	80
2.7.1.	PLC	80
2.7.2.	Ventajas del PLC.....	89
3.	DISEÑO DE LAS DIVERSAS ETAPAS DEL PROCESO.....	91
3.1.	Introducción.....	91
3.2.	Diseño de los circuitos con transductores para la etapa de censado.....	91
3.3.	Diseño de los circuitos para la etapa operativa	97
3.4.	Diseño de circuito para etapa selectora de parámetros según raza	125
4.	ETAPA DE CONTROL.....	127
4.1.	Algoritmo	127
4.1.1.	Diagramas de flujo	130
4.2.	Diseño del algoritmo.....	131
4.3.	Verificación y depuración final.....	140
4.4.	Resultados	154
	CONCLUSIONES.....	157
	RECOMENDACIONES	159
	BIBLIOGRAFÍA.....	161
	APÉNDICES.....	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Primera máquina incubadora eléctrica.....	6
2.	Máquina nacedora industrial	8
3.	Valores de los parámetros de incubación	10
4.	Típica bandeja para nacedora	13
5.	Dimensiones de la bandeja	16
6.	Armazón de la nacedora	18
7.	Dimensiones de los paneles internos.....	20
8.	Dimensiones de los paneles externos.....	22
9.	Armario con soporte para las bandejas.....	25
10.	Puerta y sus dimensiones	27
11.	Ubicación de la caja para circuitería.....	28
12.	Desarrollo embrionario durante la incubación.....	31
13.	Etapas de un proceso automatizado	39
14.	Comportamiento del termistor de temperatura	47
15.	Termistor de temperatura	48
16.	Comportamiento del sensor de humedad	50
17.	Ventilador	52
18.	Ubicación de los ventiladores en la nacedora.....	53
19.	Sistema de humidificación.....	63
20.	Nacedora con el sistema de humidificación	64
21.	Válvula solenoide	65
22.	Típica resistencia calentadora.....	67
23.	Corte transversal de las paredes de la nacedora.....	70

24.	Producción de calor del huevo durante la incubación.....	75
25.	Instalación de cada par resistencia-ventilador	78
26.	Distribución del aire en el interior de la nacedora	79
27.	Arquitectura básica de un PLC	82
28.	Típico PLC y sus terminales	84
29.	PLC modelo SR2B121JD de <i>Schneider Electric</i>	87
30.	Circuito del termistor	93
31.	Conexión del sensor de humedad	95
32.	Placa para los sensores de temperatura y humedad.....	96
33.	Configuración "emisor común sin resistencia de emisor"	100
34.	Circuito con 555 para el funcionamiento de los ventiladores	101
35.	Placa para el accionamiento de los ventiladores	102
36.	Circuito con optoaislador para carga resistiva	104
37.	Circuito para activar las resistencias	105
38.	Relacion de corriente según el área de la sección transversal de las pistas.....	106
39.	Relación de ancho de las pistas según el área transversal	107
40.	Placa para las resistencias calefactoras	109
41.	Conexión del PLC para el circuito de las resistencias	110
42.	Conexión del PLC con las bombas de 120 V CA	112
43.	Conexión del PLC para activar la electroválvula.....	113
44.	Conexión de la entrada I1 y la alimentación del PLC.....	114
45.	Placa para las salidas del PLC	115
46.	Diagrama de la fuente de alimentación.....	118
47.	Placa de la fuente de alimentación	120
48.	Circuito de la luz de inspección	121
49.	Distribución de las placas dentro de la caja de circuitería	123
50.	Vista de la caja para circuitería cerrada.....	125
51.	Símbolos más usados en la elaboración de diagramas de flujo	131

52.	Diagrama de flujo para la subrutina de temperatura	133
53.	Diagrama de flujo para la subrutina de humedad.....	134
54.	Diagrama de flujo para la etapa de calentamiento	136
55.	Diagrama de flujo para la etapa de carga	137
56.	Diagrama de flujo para la etapa de incubación	139
57.	Bloques importantes en el lenguaje FBD #1	141
58.	Bloques importantes en el lenguaje FBD #2	142
59.	Gráfica del número de la conversión ADC del PLC de acuerdo con el valor de la temperatura.....	145
60.	Sección del programa que mide y regula la temperatura en lenguaje FBD	146
61.	Mapa de <i>Karnaugh</i> para la electroválvula	149
62.	Sección del programa que mide y regula la humedad en lenguaje FBD.....	151
63.	Sección del programa para los tres tiempos del funcionamiento de la nacedora en lenguaje FBD.....	153
64.	Programa completo para el control de la nacedora en lenguaje FBD.....	154

TABLAS

I.	Características de bandejas industriales.....	14
II.	Análisis económico del armario de la nacedora	29
III.	Clasificación zoológica de la gallina.	32
IV.	Razas de gallinas existentes en Guatemala.	34
V.	Resistencia contra temperatura para el termistor.....	46
VI.	Análisis económico del sistema de humidificación.....	66
VII.	Calor requerido por la nacedora.....	77
VIII.	Análisis económico para la placa de censado.....	96

IX.	Análisis económico para la placa de control de los ventiladores.	102
X.	Análisis económico de la placa de activación de resistencias.	111
XI.	Análisis económico de la placa de salidas del PLC.	116
XII.	Análisis económico de la placa de la fuente y luz de inspección.	122
XIII.	Temperatura del termistor, voltaje analógico y número de conversión del PLC.....	143
XIV.	Estados para la bomba 1, bomba 2 y electroválvula dependiendo de A y B	148
XV.	Experimento de movilización de volumen con bomba.	150

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Amperio, unidad de intensidad de corriente eléctrica del SI
cm	Centímetro
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
CFM	<i>Cubic Feet per Minute</i> (“Pies cúbicos por minuto”)
F	Faradio
°C	Grado Celsius
g	Gramo
Hz	Hertz o hercio
h	Hora
J	Julio
K	Kelvin
kg	Kilogramo
kHz	Kilohertz
kΩ	Kilohmio
L	Litro
MΩ	Megaohmio
m	Metro
m ²	Metro cuadrado
m ³	Metro cúbico
m ³ / h	Metro cúbico por hora
μF	Microfaradio

mA	Miliamperio
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mV	Milivoltio
min	Minuto
mol	Mol
ηF	Nanofaradio
Ω	Ohmio u ohm
oz	Onza
Pa	Pascal
ft	Pie
%HR	Porcentaje de humedad relativa
in	Pulgada
rev/min	Revoluciones por minuto
s	Segundo
V	Voltio
W	Watt o vatio

GLOSARIO

a. C.	Antes de Cristo, término usado para fechar años y siglos anteriores a la Era Cristiana.
ADC	<i>Analog to digital converter</i> (“Conversor o convertidor analógico a digital”), dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica en una digital.
Amplificador operacional	Dispositivo amplificador electrónico de alta ganancia acoplado en corriente continua.
ANSI	American National Standards Institute (“Instituto Nacional Estadounidense de Estándares”), organización que supervisa el desarrollo de estándares en los Estados Unidos.
Avicultura	Es la práctica de criar y cuidar aves, encaminada generalmente al aprovechamiento y comercialización de sus productos.
Base	En un transistor de unión bipolar se llama base a la región intermedia y estrecha del transistor, esta divide el colector del emisor.
Bit	Acrónimo de <i>binary digit</i> (“dígito binario”), es un dígito en el sistema de numeración binario.

Bobina	Dispositivo eléctrico pasivo que almacena energía en forma de campo magnético.
Bornera	También conocido como clema, es un dispositivo conector eléctrico u electrónico en el que el cable es sujetado mediante un tornillo.
Buffer	También llamado búfer, es un espacio de memoria en el que se almacenan datos de manera temporal.
Bus	Es un sistema digital que transfiere datos entre los componentes de una computadora o dispositivo electrónico.
Campo eléctrico	Es un campo físico que es representado mediante un modelo que describe la interacción entre cuerpos y sistemas con propiedades de naturaleza eléctrica.
Campo magnético	Es una descripción matemática de la influencia magnética de las corrientes eléctricas y de los materiales magnéticos.
Capacitor	También llamado condensador, es un dispositivo pasivo que almacena energía en forma de campo eléctrico.
Carga inductiva	Tipo de carga que se comporta mayormente como una bobina.

Carga resistiva	Tipo de carga que se comporta mayormente como una resistencia, por lo que hay que analizarla como tal.
Ciclo de trabajo	Es la relación entre el tiempo que una señal se encuentra en estado activo y el periodo de la misma.
Colector	En un transistor de unión bipolar; es la región del mismo tipo que el colector solo que de mayor extensión y menos dopada que el emisor.
Conductividad térmica	Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducción del calor.
Corriente	Corriente eléctrica es el flujo de carga eléctrica por unidad de tiempo que recorre un material.
CPU	<i>Central processing unit</i> (“Unidad central de proceso”), comprende el area de una computadora o dispositivo programable que interpreta las instrucciones de un programa mediante la realización de las operaciones básicas aritméticas, lógicas y de entrada/salida del sistema.
DAC	<i>Digital to analog converter</i> (“Conversor o convertidor digital a analógico”), dispositivo electrónico capaz de convertir una señal digital en una señal analógica.

Diodo	Componente electrónico de dos terminales que solo permite la circulación de corriente eléctrica en un sentido.
Disipador	Dispositivo usado para disminuir la temperatura de algunos componentes electrónicos.
Eclosión	En avicultura, hace referencia a la salida del polluelo del cascarón.
Efecto memoria	Se produce en las baterías cuando estas se cargan sin haber sido descargadas del todo; esto produce unos cristales en el interior de las baterías.
Electroválvula	Dispositivo electromecánico que mediante una bobina permite controlar el paso de un fluido.
Emisor	En un transistor de unión bipolar emisor es una región del mismo tipo que el colector pero más fuertemente dopada y que emite portadores de carga.
Estado de corte	Región en la que las uniones base-emisor y base-colector son polarizadas inversamente; en esta región el transistor no conduce corriente eléctrica.
Estado de saturación	Región en la que las uniones base-emisor y base-colector son polarizadas directamente, en esta región el transistor funciona como un circuito cerrado.

Fotodetector	Dispositivo que genera una señal eléctrica en función de la luz u otra radiación electromagnética que recibe.
Frecuencia	Magnitud que mide el número de repeticiones de una señal en un segundo.
Función booleana	Es una expresión formada por variables binarias (solo pueden tomar valores de 1 y 0), el resultado de tal expresión es también un valor binario.
Fusible	Dispositivo que en condición normal permite el flujo de corriente eléctrica, pero que en caso de que dicha corriente exceda un específico valor, el filamento conductor del dispositivo se funde e interrumpe la conducción.
HR	Humedad relativa, es la relación entre la cantidad de agua que contiene y la que tendría una masa de aire si estuviera completamente saturada.
Humidificación	Acción de aumentar la humedad en el ambiente.
IC 555 o LM555	Circuito integrado que se utiliza en la generación de pulsos y oscilaciones.

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (“Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica”), es una asociación mundial de ingenieros dedicada a la estandarización y el desarrollo en áreas técnicas.
Impedancia	Medida de oposición que presenta un circuito a una corriente cuando se aplica una tensión.
Led	Diodo especialmente fabricado para emitir luz al ser polarizado directamente.
Ley de Ohm	Fórmula que establece la relación entre tensión, corriente eléctrica e impedancia en un circuito eléctrico.
Ley de tensiones de Kirchhoff	Establece que en un lazo cerrado la suma de todas las caídas de tensión es igual a la tensión provista.
LSB	<i>Least significant bit</i> (“bit menos significativo”), es la posición de bit en un número binario que tiene el menor valor.
Mapa de Karnaugh	Diagrama usado para la simplificación de funciones algebraicas booleanas.
Microcontrolador	Circuito integrado programable, capaz de ejecutar las instrucciones grabadas en su memoria.

Multivibrador astable	En electrónica, es el circuito que conmuta entre dos estados, permaneciendo en cada estado un tiempo determinado.
PAC	<i>Programmable automation controller</i> (“Controlador de automatización programable”), tecnología industrial orientada al control automatizado, al diseño de prototipos y a la medición.
Pantalla LCD	Pantalla delgada y plana formada por pixeles colocados delante de una fuente de luz.
Periodo	En electrónica y ciencias afines, designa el intervalo de tiempo necesario para completar un ciclo.
Polarizar	Suministrar una tensión fija a un componente electrónico.
Potencia	Cantidad de energía eléctrica o trabajo que se transporta o se consume en un determinada cantidad de tiempo.
PWM	<i>Pulse width modulation</i> (“Modulación por ancho de pulsos”), técnica en la que se cambia el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información o controlar la cantidad de energía en una carga.

Rack	Soporte metálico destinado a alojar equipamiento electrónico; algunos dispositivos los traen integrados.
RAM	<i>Random access memory</i> (“Memoria de acceso aleatorio”), tipo de memoria que permite la lectura y escritura en una posición de memoria sin que el acceso deba de ser secuencial.
Regulador de voltaje	Dispositivo electrónico diseñado para mantener un constante nivel de voltaje o tensión.
Relé o relevador	Dispositivo electromagnético que funciona como un interruptor controlado con la activación de una bobina.
Resistencia	Dispositivo eléctrico diseñado para introducir una oposición a la corriente eléctrica en un circuito.
ROM	<i>Read only memory</i> (“Memoria de solo lectura”), tipo de memoria que solo permite la lectura de la información.
Sensor	Dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas y transformarlas en variables eléctricas.
SI	Sistema internacional de unidades, sistema de unidades que se usa en casi la totalidad de países del mundo.

Subrutina	Es un segmento de código separado del bloque principal y que puede ser invocado en cualquier momento desde el bloque principal o desde otra subrutina.
Temporizador	Sistema de control de tiempo que se utiliza para activar o desactivar salidas en uno o más momentos determinados.
Tierra	En electrónica, a diferencia que en electricidad, la tierra hace alusión al punto de referencia común de tensión en un circuito, normalmente es 0 voltios.
Transformador	Dispositivo eléctrico pasivo que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito de corriente alterna, manteniendo la potencia.
Transistor Darlington	Dispositivo semiconductor que combina dos transistores bipolares en un solo encapsulado.
Transistor NPN	Tipo de transistor en el cual la base es una región tipo P mientras el colector y emisor son regiones tipo N.
Triac	Dispositivo semiconductor que puede conmutar bidireccionalmente, por lo cual es usado como interruptor con corriente alterna.

Vaporización	Proceso por el cual una sustancia cambia de estado líquido a gaseoso.
Voltaje o tensión	Magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial entre dos puntos.
Zumbador	Transductor electroacústico que produce un sonido al ser polarizado directamente.

RESUMEN

La importancia de la carne de pollo en la alimentación del país es indiscutible; esto estimula la investigación y desarrollo en dicha área. El trabajo pretende ser de utilidad a todas aquellas personas interesadas en la avicultura y en la electrónica; pretende dar una respuesta a las dificultades existentes en el mercado nacional para adquirir maquinaria avícola industrial.

Se presenta el diseño de una máquina automática nacedora para pollos que mediante su implementación permita mejorar la productividad de pequeños e informales productores avícolas, principalmente en el interior del país. Para esto se parte de la afirmación de que es posible añadir al conocimiento del proceso de incubación de la gallina conceptos referentes a la electrónica y a la automatización para obtener una máquina competente en eficiencia y costo.

El conocimiento básico de la incubación permite el diseño del armario, a esto le siguen los conceptos básicos de automatización que permiten la elección de dispositivos y mecanismos. A continuación se diseñan los circuitos y placas impresas para los dispositivos seleccionados y finalmente se analiza la etapa de control constituida por un PLC; en cada una de las diversas etapas se analizan costos que permitan analizar la final competencia económica de la máquina. Aunque la investigación satisface el factor de eficiencia y costo planteados, es necesario indicar que la implementación del trabajo a una escala de producción industrial requiere un incremento en la capacidad de huevos de la máquina.

OBJETIVOS

General

Diseñar una máquina automática nacedora para pollos cuyo costo de implementación compita con la maquinaria disponible en el mercado y cuyo desempeño sea eficiente.

Específicos

1. Conocer de manera general el proceso de incubación en los pollos.
2. Identificar los factores principales que intervienen en el correcto proceso de incubación principalmente en el periodo de nacimiento.
3. Conocer las etapas de un proceso automático.
4. Seleccionar dispositivos y diseñar circuitos para lograr el adecuado funcionamiento de la máquina.
5. Diseñar la etapa de control mediante la selección de un PLC y su respectiva programación.

INTRODUCCIÓN

La avicultura informal en Guatemala es una práctica ampliamente extendida en el área rural, sin embargo la capacidad de adquirir maquinaria adecuada en tales lugares y condiciones es muy escasa; si a esto se le añade la indudable importancia de la cría de pollos en la alimentación de la población, entonces es conveniente diseñar una máquina nacedora de capacidad mediana que pueda mediante su implementación contribuir a la crianza informal de pollos en el país. Para tal propósito el trabajo detalla cuidadosamente cada etapa y situación a considerar para lograr diseñar una máquina cuyo balance de eficiencia y precio haga factible su implementación.

El primer capítulo aborda el tema de la incubación de pollos, se expone su historia y características principales, estas características del proceso de incubación permiten la elección de materiales y el diseño del armario y bandejas para la máquina. En el capítulo dos se desarrollan los conceptos de la automatización de procesos; esto permite dividir el diseño de la nacedora en etapas; también en este capítulo se eligen sensores y mecanismos mediante estimaciones termodinámicas que consigan un adecuado desempeño del proceso.

En el capítulo tres se diseñan los circuitos y placas para el funcionamiento de los dispositivos seleccionados, además se aborda el tema de la fuente de alimentación. Finalmente el cuarto capítulo trata sobre la etapa de control, se diseñan algoritmos que posteriormente son codificados en el software apropiado para lograr el correcto funcionamiento del diseño.

1. PRINCIPIOS Y TEMAS RELACIONADOS CON LA MAQUINARIA AVÍCOLA

1.1. Introducción

La importancia de la avicultura en la alimentación de la población mundial ha provocado un alto y constante desarrollo en las técnicas usadas por esta importante área de la industria alimenticia. Uno de los procesos claves en esta industria y que más nivel de desarrollo ha alcanzado es el proceso de incubación, la artificialización de este proceso natural en la reproducción de las aves ha producido máquinas industriales altamente desarrolladas y confiables.

La importancia del proceso de incubación en la presente investigación requiere una exposición detallada al respecto. La palabra incubación proviene del latín *incubare* que significa “acostarse sobre”, ya que precisamente esto hacen casi todas las especies de aves; se acuestan sobre sus huevos durante un periodo particular de tiempo para calentarlos, provocando de esta manera el desarrollo de los embriones hasta conseguir finalmente polluelos completamente desarrollados.

Evidentemente analizado desde una perspectiva comercial, la incubación natural presenta algunos inconvenientes, dentro de los cuales se puede mencionar:

- Número reducido de huevos que pueden ser incubados.

- La indisposición del ave para incubar continuamente a lo largo de todo el año.
- El monitoreo de los huevos que están siendo incubados es muy limitado.

El hombre desde la antigüedad ha consumido la carne de ave y sus huevos, esto provoca la crianza de aves para fines alimenticios. La crianza eventualmente expone las desventajas de la incubación natural, así, el hombre ha tratado (aun con las limitaciones técnicas propias de cada época) principalmente de aumentar la cantidad de huevos incubados, es así, como las evidentes limitaciones en la incubación natural han llevado al hombre a tratar de imitar artificialmente este complejo proceso, iniciando así el desarrollo del proceso de incubación artificial.

Como fue mencionado previamente, la incubación artificial es una práctica bastante antigua, Aristóteles escribió acerca de su práctica por parte de los egipcios en el 400 a. C.; mientras los chinos la desarrollaron por lo menos en el 246 a. C. Estos métodos de incubación primitiva fueron realizados a gran escala y la forma de graduar las condiciones de incubación fue de manera experimental, transmitiendo los conocimientos obtenidos de una generación a otra; es evidente que el progreso conseguido en esta manera primitiva de incubación fue muy bajo.

Por parte de los chinos se conocen dos distintos sistemas. En el primero, los huevos eran colocados arriba de un poco de estiércol en fermentación y eran cubiertos con otra mezcla de estiércol y paja; el calor provocado por el estiércol en fermentación era suficiente para un aceptable porcentaje de éxito en la incubación. El segundo sistema utilizaba un horno cilíndrico de arcilla u otro material resistente al calor; este horno era alimentado por carbón de leña y

tenía en la parte inferior una abertura para encender y regular el fuego; en el horno se colocaba un cono con la base hacia arriba. El cono se llenaba una tercera parte aproximadamente con ceniza y sobre la ceniza se ponía un canasto con los huevos fértiles tapados con paja; con este sistema era posible incubar unos 600 huevos de gallina, aproximadamente.

El método usado por los egipcios tenía una mayor capacidad; ellos usaron incubadoras hechas con ladrillos de barro; estas incubadoras eran grandes habitaciones que contaban con un pasillo donde un hombre podía perfectamente caminar; estas estructuras tenían un tejado al cual hacían algunos agujeros para permitir la iluminación y la ventilación de los huevos; fueron estos los que mejor porcentaje de nacimientos lograron entre las culturas antiguas que practicaron la incubación, los egipcios lograron obtener 2 pollos de cada 3 huevos, un poco menos del 70 % de éxito en el proceso, porcentaje muy meritorio para las limitaciones de la época.

En Europa, la incubación fue practicada de manera artesanal y con poca difusión a otros continentes. Fue en Norteamérica y más específicamente Estados Unidos donde la incubación artesanal empezó a practicarse a gran escala y allí mismo se desarrolló la mayoría de la tecnología relacionada con la incubación moderna. En la actualidad las modernas máquinas incubadoras poseen en sus diseños importantes adelantos en distintas ciencias como la química, física, y la electrónica. Aunque hay que reconocer que el actual progreso de la avicultura no hubiera sido posible en el mismo grado sin el desarrollo inicial de las máquinas incubadoras artesanales.

Hablando a nivel nacional, en Guatemala durante la década de los sesentas el gobierno guatemalteco instituyó una ley denominada “Ley de Fomento Avícola”; esta iniciativa tenía el propósito de estimular la industria

avícola para mejorar la nutrición de los habitantes e impulsar la economía del país, la ley logró estimular el desarrollo de la avicultura y produjo una respuesta de la inversión privada en la industria; comenzó de esta manera la consolidación de una de las industrias más importantes y productivas del país: “la industria avícola guatemalteca”. A partir de aquel momento, la industria avícola comienza un desarrollo acelerado por alcanzar niveles comerciales importantes, también se incrementa la aparición de granjas tecnificadas y especializadas.

La avicultura tiene como principales productos de consumo la carne de pollo denominada “carne blanca” y los huevos de mesa. Las granjas avícolas han alcanzado niveles comerciales gracias a la adquisición de máquinas automáticas las cuales aumentan la producción y disminuyen la mano de obra, haciendo mucho más rentable la producción de huevos y carne.

Debido al progresivo y constante crecimiento de la avicultura industrial, rápidamente los productos avícolas comerciales pasaron a formar parte de la dieta básica del guatemalteco, comenzando en las poblaciones urbanas, y posteriormente en todo el país.

1.2. Máquina nacedora

En muchos aspectos la máquina nacedora es similar a la incubadora y debido a esta similitud y al hecho de que ambas máquinas son complementarias en el proceso de incubación, resulta muy difícil describir la nacedora sin hacer alguna referencia a la incubadora, esto es, derivado también del hecho que la incubadora aunque en una forma muy básica y general es bastante conocida e identificada por las personas ajenas a la industria avícola; esto contrasta con que la nacedora es conocida casi exclusivamente por

personas familiarizadas con la avicultura y sus procesos. La historia de la máquina nacedora está directamente ligada a la historia de la incubadora, ya que básicamente la nacedora es una moderna especialización de una incubadora.

La historia de la incubadora moderna es indispensable para entender la posterior evolución hacia la nacedora actual. Como previamente fue descrito, las máquinas incubadoras existieron en diferentes culturas desde hace muchos siglos, estas eran fabricadas de una forma puramente experimental sin datos ni cálculos específicos que mejorarán la eficiencia de las mismas.

Puede decirse que fue la investigación del físico René Antoine Ferchault de Réaumur la encargada de inaugurar los métodos modernos de incubación; dicho trabajo fue publicado en París en 1749 y en él hablaba del éxito obtenido al incubar huevos en un cajón específicamente diseñado, dentro del cual la temperatura era controlada mecánicamente. Al experimento de Réaumur le sucedieron otros como el realizado en 1770 por John Champion, incubando huevos en un local calentado por las chimeneas de una caldera.

En 1783 Jacob Graves empezó a realizar las primeras incubaciones artificiales en América, pero fue hasta 1855, con la invención de la primera incubadora americana a gran escala por parte de Charles Cyphers que dio inicio la incubación industrial; posteriormente en 1881, en Inglaterra, Charles Hearson inventa la primera incubadora autorregulada. A estas incubadoras les siguieron modelos con importantes avances entre los cuales particularmente destaca la primera incubadora totalmente eléctrica, inventada en 1912 en Estados Unidos por el señor Ira M. Petersime.

Posteriormente en 1922 el señor Petersime lanza al mercado un modelo de incubadora eléctrica inventado también por él y en 1949 concede la licencia a una compañía belga para utilizar su nombre en la fabricación de incubadoras; la empresa Petersime aún existe y goza de gran reputación en la industria avícola principalmente en el continente europeo.

Figura 1. **Primera máquina incubadora eléctrica**



Fuente: *Historia de petersime*. www.petersime.com/quienes-somos/historia-de-petersime/.

Consulta: septiembre de 2014.

En las primeras incubadoras automáticas no existía distinción entre compartimientos diseñados para nacimiento y compartimientos diseñados para incubación, de manera que los polluelos nacían en los mismos cajones en los

cuales previamente habían sido incubados. En dichas máquinas permanecían los huevos durante todo el periodo de incubación, por lo que las condiciones de temperatura y humedad eran las mismas durante todo el proceso, sin embargo, no pasó mucho tiempo para que la práctica mostrara a los diseñadores la conveniencia de usar diferentes compartimientos para la incubación y el nacimiento.

Posteriormente la misma experiencia e investigaciones más modernas y detalladas permitieron detectar las sutiles diferencias en las condiciones ambientales para la etapa de nacimiento. Este descubrimiento permitió desarrollar en las incubadoras dos compartimientos diferentes, una para la incubación y otro para el nacimiento, teniendo cada uno de ellos independencia en el monitoreo y la regulación en las condiciones. Finalmente motivos prácticos y especialmente higiénicos llevaron a desarrollar la máquina nacedora totalmente independiente de la incubadora como es conocida hoy.

Una máquina nacedora en su forma más simple comprende un contenedor cerrado dentro del cual se colocan los huevos próximos a nacer; estos huevos han sido previamente incubados por la incubadora durante 18 días. En este ambiente la temperatura, humedad y ventilación se controlan para permanecer en un rango específico, esto para facilitar y maximizar la eclosión de los huevos. Una de las evidentes ventajas de la máquina nacedora es que permite que el proceso de incubación sea continuo, ya que los huevos próximos a nacer son trasladados de la incubadora hacia la nacedora, dejando espacio para nuevos huevos; de la misma manera los polluelos que han nacido satisfactoriamente se retiran de la nacedora, dejando espacio para nuevos huevos por eclosionar.

La existencia de dos máquinas que intervengan en el proceso de incubación facilita la transformación de la incubación en un proceso

ininterrumpido en el que siempre habrá huevos en las dos máquinas del proceso; a continuación se muestra una máquina nacedora de tipo industrial:

Figura 2. **Máquina nacedora industrial**



Fuente: *Google*. <http://5898.ar.all.biz/nacedora-por-aire-forzado-g50322#!prettyPhoto>. Consulta: septiembre de 2014.

Los huevos necesitan ser trasladados a la nacedora durante los últimos tres días del proceso de incubación, ya que los mismos necesitan ser acostados en sus lados para permitir el libre movimiento del pollito fuera de la cáscara al nacer; esto indica que el volteo periódico de la incubadora es peligroso para el embrión durante estos días. El traslado también ayuda a la higiene, ya que

grandes cantidades de plumón se generan durante el nacimiento y podría diseminar contaminación alrededor de los huevos en etapas tempranas de desarrollo.

Tanto las nacedoras como las incubadoras disponibles en el mercado avícola son también llamadas “máquinas de aire forzado” ya que utilizan ventiladores para forzar la circulación de aire en el interior de la máquina. Las máquinas nacedoras de capacidad industrial son construidas por fabricantes en un amplio rango de capacidad que va desde unos cientos de huevos hasta varios miles.

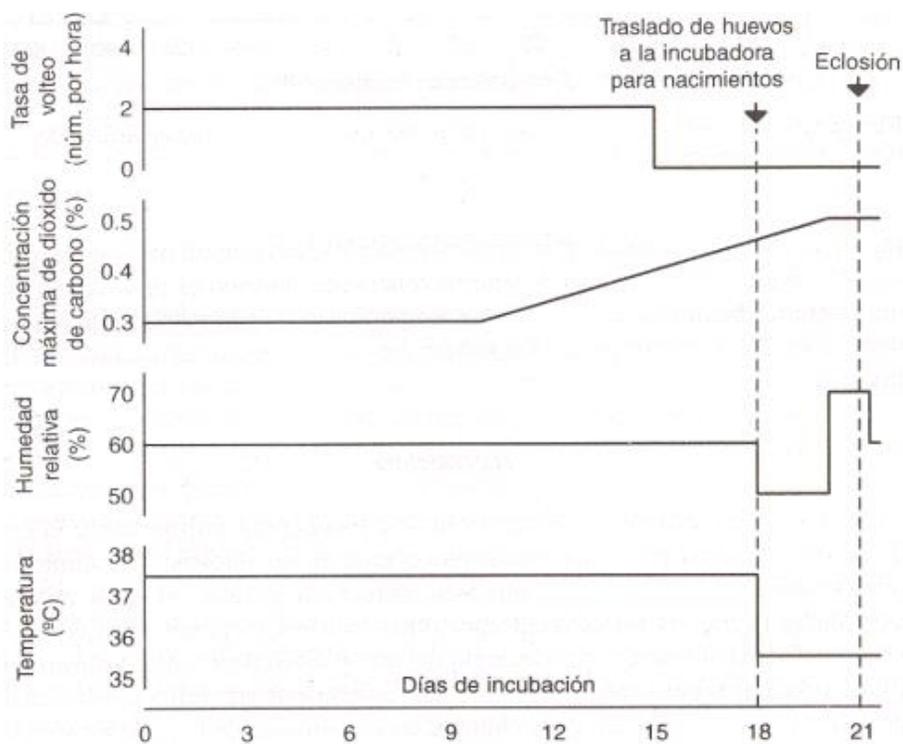
1.2.1. Parámetros clave en la máquina nacedora

La incubación de pollos es un proceso complejo que dura 21 días; estudios modernos han logrado determinar las condiciones óptimas durante todo el proceso; estos estudios han descubierto que existen en el proceso de incubación de pollos dos periodos en los cuales las condiciones ambientales se mantienen relativamente estables. El primer periodo es la etapa de incubación propiamente dicha; esta comprende los primeros 18 días del proceso y es aquí donde interviene la incubadora; durante este periodo se deben regular los parámetros de temperatura, ventilación, humedad y volteo.

El segundo periodo es la etapa de nacimiento que abarca los últimos 3 días del proceso; durante este periodo las condiciones varían levemente respecto del primero, pero la necesidad del volteo desaparece para evitar dañar al embrión en una etapa avanzada de desarrollo dentro del huevo. Después de que los huevos han sido encubados durante 18 días en la incubadora, estos se trasladan cuidadosamente a la máquina nacedora.

La máquina nacedora trabaja en la etapa de nacimiento antes mencionada y debe regular los parámetros para facilitar el nacimiento de los polluelos; para lograr esto se deben monitorear y regular las condiciones para que estas permanezcan dentro de un rango de tolerancia dentro del cual las variaciones no tendrán significativos efectos en el nacimiento de las aves; a continuación se muestra una gráfica con valores adecuados en los factores ambientales del proceso de incubación:

Figura 3. Valores de los parámetros de incubación



Fuente: *Incubación de huevos*. <http://grupo.us.es/gprodanim/PCA/practicaincubacion.pdf>.

Consulta: septiembre de 2014.

A continuación se expone de manera más explícita cada uno de los tres factores a regular en la nacedora, ya que son indispensables para lograr el correcto desempeño de la máquina.

- **Temperatura:** es el factor de mayor importancia tanto durante la etapa de incubación como en la etapa de nacimiento; esto debido a que pequeñas variaciones en sus valores pueden resultar mortales para muchos embriones. La temperatura necesaria en la nacedora es levemente inferior a la temperatura en la incubadora, esto para evitar el sobrecalentamiento de los polluelos. El rango de tolerancia para lograr los nacimientos exitosos es de entre 36 °C y 37 °C.
- **Humedad:** este parámetro en el interior de la máquina nacedora requiere ser rigurosamente monitoreado ya que la deficiencia en la humedad está relacionada con defectos en la tasa de eclosión; en los últimos días del proceso elevar la humedad facilita el reblandecimiento de las membranas de la cáscara y con ello facilita también el picaje de esta por parte del polluelo. El rango correcto de humedad relativa durante la etapa de nacimiento de pollos es de entre el 70 % y el 75 %.
- **Ventilación:** es también un parámetro importante durante la etapa de nacimiento. Mientras el embrión progresivamente se desarrolla, el oxígeno es absorbido por el huevo a través de la cáscara y el bióxido de carbono es expulsado también a través de la cáscara. La ventilación es necesaria para proporcionar el oxígeno que el embrión consume, así como para eliminar el bióxido de carbono y el vapor de agua que se producen en el interior de la nacedora; la ventilación ayuda también a distribuir correctamente el aire y así lograr la misma temperatura y humedad relativa en todos los huevos de la nacedora.

La ventilación es el parámetro que menos rigurosamente se controla en el proceso de incubación y para su éxito solo se necesita que la penetración de aire fresco sea continua para proveer oxígeno a los huevos y extraer el aire viciado y así evitar problemas asociados a la falta de oxígeno; una cantidad de entrada de aire en la nacedora debe tener un flujo volumétrico de aproximadamente 28,7 m³/h o 17 CFM por cada 1 000 huevos.

1.3. Estudio y diseño del armario de la máquina nacedora

Para el estudio del armario o contenedor de la nacedora se comienza por analizar las bandejas debido a que el tamaño de las cestas determina las dimensiones del armario; así que se debe iniciar por señalar que las bandejas, cajones o cestas para nacimiento están construidas usualmente de alguna clase de plástico resistente normalmente polipropileno u otro plástico resistente; las bandejas de nacimiento para incubadoras o nacedoras son fabricadas de estos materiales, ya que son apropiados para satisfacer múltiples características necesarias entre las cuales se pueden citar:

- Resistencia del material a los desinfectantes industriales.
- Resistencia e higiene del material (material no apropiado para el desarrollo de hongos y otros agentes biológicos contaminantes).
- Capacidad del material para ser fabricado con múltiples aberturas laterales para facilitar la circulación del aire.
- Livianidad y fortaleza para que la bandeja no pese excesivamente, pero a la vez pueda soportar el peso de varias bandejas apiladas.

- Facilidad de fabricación del material, ya que la parte interna de la bandeja debe proporcionar buen agarre para evitar que los huevos rueden o que los pollitos resbalen y queden con las patitas abiertas cuando estos hayan salido del cascarón.

Figura 4. **Típica bandeja para nacedora**



Fuente: *El bienestar animal una preocupación creciente*. www.petersime.com/es/noticias-y-eventos/el-bienestar-animal-una-preocupacion-creciente/. Consulta: octubre de 2014.

Las dimensiones de la bandeja determinan la capacidad de huevos de la misma, así que primero es necesario determinar el área aproximada que cada huevo requiere en la bandeja. Teniendo en cuenta que cada huevo idealmente equivaldrá a un polluelo y que no es conveniente que estos estén muy juntos y apretados, además, un excesivo espacio para cada polluelo resulta en menor capacidad de incubación y evidentemente una menor rentabilidad de la máquina.

A continuación se analiza dos cestas de nacimiento para huevos de gallina de la marca Petersime para con estos datos determinar las dimensiones del cajón para la nacedora. Las dimensiones y modelos se muestran en la siguiente tabla y han sido extraídos de la hoja de especificaciones de las bandejas elaboradas por el fabricante:

Tabla I. **Características de bandejas industriales**

Modelo de bandeja	B093252	B14047
Capacidad	150 huevos	75 huevos
Longitud	0,7950000 m	0,5960000 m
Ancho	0,5650000 m	0,3980000 m
Altura	0,1330000 m	0,1670000 m
Área total	0,4491750 m ²	0,2372080 m ²
Área por cada huevo	0,0029945 m ²	0,0031627 m ²

Fuente: elaboración propia.

Los valores de área por huevo para cada bandeja analizada son cercanos a 0,0030 m², así que es lógico suponer que un área cercana a esta cifra cumple satisfactoriamente con el área requerida por cada huevo. Aunque lo ideal es diseñar las bandejas con la capacidad de huevos y dimensiones que se consideren más apropiadas y luego encargar su fabricación, se debe ser realista y señalar que prácticamente ninguna empresa manufacturera de plástico fabricará bandejas a la medida si la cantidad encargada es pequeña.

Debido a este desafortunado hecho es considerada una buena opción alternativa el adquirir bandejas ya fabricadas en establecimientos de artículos de plástico, y luego a partir de las dimensiones de dichas bandejas determinar su capacidad y continuar con el diseño del armario.

Las bandejas adecuadas para esta aplicación se conocen en la industria del plástico como “cajas agrícolas caladas”, vienen en varias presentaciones y son usualmente fabricadas en polietileno de alta densidad; estas cajas son usadas en el area agrícola para almacenar y transportar verduras, por lo que cumplen satisfactoriamente las características previamente citadas necesarias para las bandejas. Se ha elegido una bandeja existente en el mercado guatemalteco de plástico que tiene 0,73 m de largo, 0,42 m de ancho y 0,21 m de altura. Si se considera la forma del huevo resulta conveniente asignar a cada uno un área en forma de cuadrado de 5,5 cm por lado, para obtener el area necesaria para cada huevo:

$$\text{Área (para cada huevo)} = 0,055 \text{ m} \times 0,055 \text{ m} = 0,003025 \text{ m}^2$$

El valor obtenido de área por huevo es satisfactoriamente cercano a los valores previamente obtenidos, por lo cual se trabajará con el area en forma de cuadrado de 5,5 cm por lado para cada huevo dentro de la bandeja. Las dimensiones internas de la bandeja se ven reducidas en aproximadamente 1 cm por lado debido al grosor del material, así que las medidas efectivas de la bandeja son 0,71 m de largo y 0,40 m de ancho. Se obtiene el número de cuadrados de 5,5 cm por lado que caben tanto a lo largo como a lo ancho de la bandeja y como cada cuadrado equivale a un huevo se obtiene la capacidad de huevos que puede contener la bandeja a lo largo y a lo ancho:

$$\text{Capacidad de huevos a lo largo} = \frac{0,71 \text{ m}}{0,055 \text{ m}} = 12,9090 \text{ huevos}$$

$$\text{Capacidad de huevos a lo ancho} = \frac{0,40 \text{ m}}{0,055 \text{ m}} = 7,2727 \text{ huevos}$$

Como la bandeja no es fabricada específicamente para la aplicación, las medidas no son exactas, aún así la bandeja cumple eficientemente su propósito y se asigna a la bandeja una capacidad de 13 huevos a lo largo y 7 a lo ancho, y con esto se obtiene la capacidad total de huevos para cada bandeja:

$$\text{Capacidad total de huevos} = 13 \times 7 = 91 \text{ huevos}$$

Es asignado un número de 5 bandejas para la nacedora, de manera que la máquina podrá albergar 455 huevos de gallina.

Figura 5. Dimensiones de la bandeja



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

Con las dimensiones de la bandeja para la máquina se procede a realizar los cálculos del armario que contendrá las bandejas. Lo primero es diseñar el armazón de tubos que unirá y dará soporte a las paredes internas y externas de la nacedora, y para este propósito se analizaron varios materiales, de los cuales el tubo cuadrado de aluminio resulta el más apropiado debido a que, a pesar de su considerable precio, posee otras características muy deseables para esta aplicación tales como:

- Es un material muy liviano
- Es inoxidable e higiénico
- No es toxico

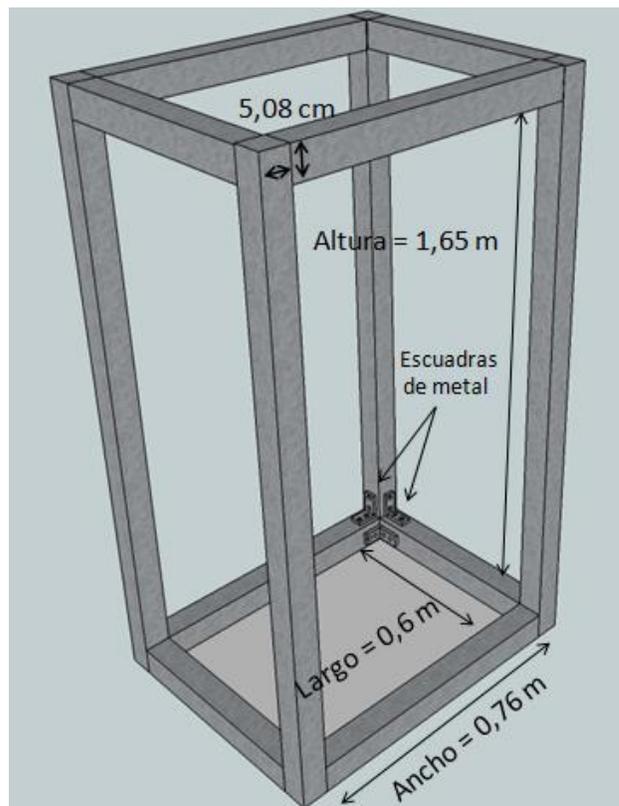
La armazón se hará de tubo de aluminio cuadrado de 5,08 cm por lado, atornillados entre sí mediante escuadras de metal y tornillos; se continúan calculando las medidas para dicha armazón y para esto primero se considera que en el armario deben caber los cajones con facilidad pero sin estar muy ajustados.

Si se toma en cuenta que los cajones miden 0,42 m x 0,73 m entonces 0,60 m y 0,76 m, estas son medidas apropiadas para el interior del armazón. Analizando la altura; la máquina debe albergar cinco bandejas de 0,21 m de altura cada una, pero no es aconsejable que las bandejas estén colocadas inmediatamente una sobre otra, por lo que se asignarán 4 cm de espacio entre bandeja y bandeja; además del espacio para las bandejas se necesitara un espacio en la parte superior para iluminación.

En la parte inferior es necesario espacio para un ventilador y una resistencia calentadora; el espacio superior será de 0,24 m y el inferior de 0,20 m. Así que se necesitan cinco espacios para bandejas de 0,21 m cada uno,

luego cuatro espacios de protección entre bandejas de 0,04 m y dos espacios (superior e inferior) de 0,24 m y 0,20 m, respectivamente; todas estas consideraciones unidas dan como resultado una altura interna necesaria en la armazón de 1,65 m; es un hecho que el grosor de la lámina que se coloque en el interior disminuirá mínimamente la distancia calculada, pero esta insignificante reducción no tendrá repercusión en el desempeño de la máquina.

Figura 6. **Armazón de la nacedora**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

Una vez hecha el armazón se necesitan colocar paneles internos y externos para formar el armario. Para los paneles internos se ha elegido la

lámina lisa galvanizada calibre 22; este tipo de lámina tiene un espesor de aproximadamente 0,8 mm y es fabricada de hierro con un recubrimiento de zinc que protege la lámina del óxido y la corrosión. Este material presenta un gran equilibrio entre costo y calidad, además su durabilidad es considerable.

Se diseña primero los paneles internos inferior y superior, los cuales tienen forma de rectángulo de 0,6 metros x 0,76 metros; además son necesarias pestañas de 0,05 m x 0,5 m y 0,05 m x 0,66 m, para atornillar cada panel al armazón; las pestañas deben tener un espacio en las orillas para evitar la interferencia con las escuadras que unen el armazón. Los dos paneles internos laterales tendrán la altura de 1,65 m menos el grosor de la lámina de los paneles inferior y exterior:

$$\textit{Altura de paneles internos laterales} = 1,65 \text{ m} - (2 \times 0,0008 \text{ m}) = 1,6484 \text{ m}$$

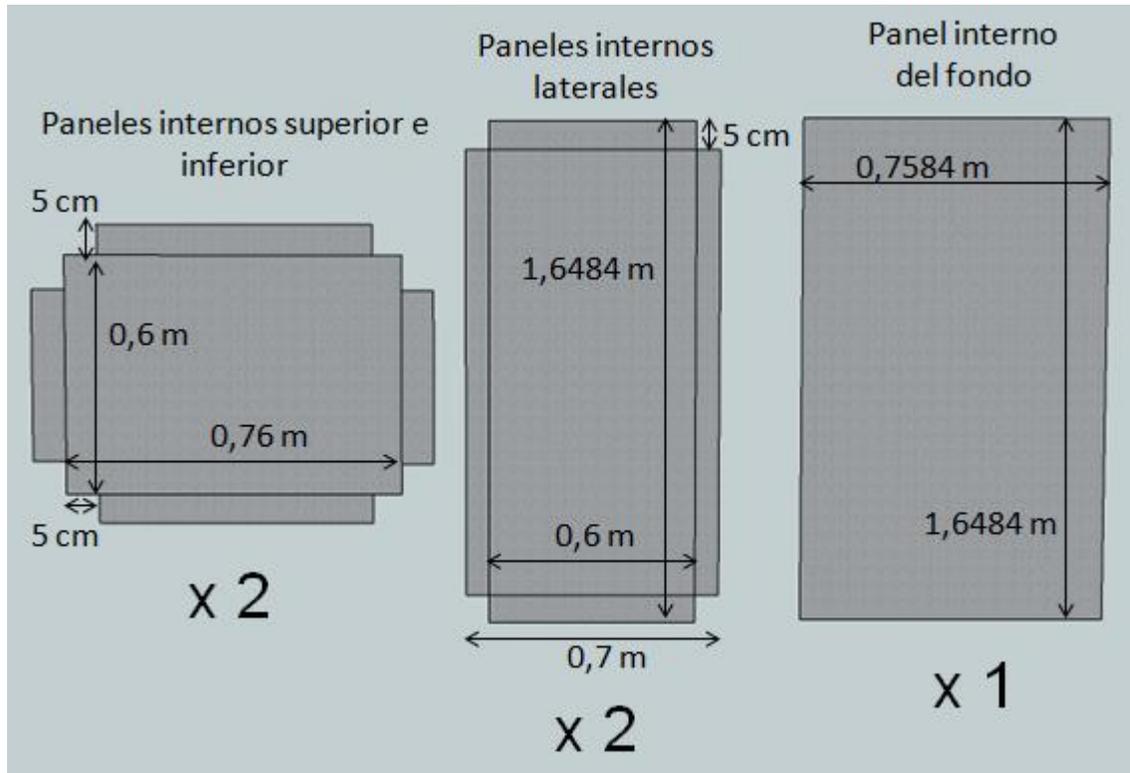
Los paneles internos laterales también deben tener un ancho de 0,6 m, y también tendrán dos pestañas sobresalientes de 0,05 m x 1,5484 m en los lados más largos; estas pestañas son para atornillar los paneles en el armazón para aumentar la firmeza de la estructura. El panel del fondo debe medir de altura 1,65 metros menos el grosor de los paneles inferior y superior:

$$\textit{Altura del panel interno del fondo} = 1,65 \text{ m} - 0,0008 \text{ m} - 0,0008 \text{ m} = 1,6484 \text{ m}$$

El ancho del panel del fondo es de 0,76 m menos el grosor de la lámina galvanizada de los dos paneles laterales:

$$\textit{Ancho del panel interno del fondo} = 0,76 \text{ m} - (2 \times 0,0008 \text{ m}) = 0,7584 \text{ m}$$

Figura 7. Dimensiones de los paneles internos



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

En la imagen anterior se nota que se han contemplado 5 centímetros libres en los paneles para evitar la interferencia con las escuadras de metal, así que las escuadras deben medir un máximo de 5 cm por lado. Además las esquinas de los paneles internos deben soldarse entre sí para hacer al armario totalmente hermético y evitar que las bacterias penetren al interior. Para los paneles externos se ha elegido planchas de PVC (*Polyvinyl chloride*) debido a su reducido precio, alta resistencia contra agentes químicos y buen aislamiento; estos paneles se unen mediante tornillos al armazón de aluminio. Los paneles externos superior e inferior deben medir de largo 0,76 m más el grosor de los

tubos cuadrados de aluminio; de igual manera el ancho será de 0,6 m más el grosor de los tubos el cual será aproximado a 5 cm:

$$\text{Largo de paneles externos superior e inferior} = 0,76 \text{ m} + (2 \times 0,05 \text{ m})$$

$$\text{Largo de paneles externos superior e inferior} = 0,86 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de paneles externos inferior y superior} = 0,6 \text{ m} + (2 \times 0,05 \text{ m})$$

$$\text{Ancho de paneles externos inferior y superior} = 0,70 \text{ m}$$

La altura de los paneles externos laterales será 1,65 m más el grosor de los tubos y el ancho 0,6 m más el grosor de los tubos de aluminio:

$$\text{Altura de paneles externos laterales} = 1,65 \text{ m} + (2 \times 0,05 \text{ m}) = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de paneles externos laterales} = 0,6 \text{ m} + (2 \times 0,05 \text{ m}) = 0,7 \text{ m}$$

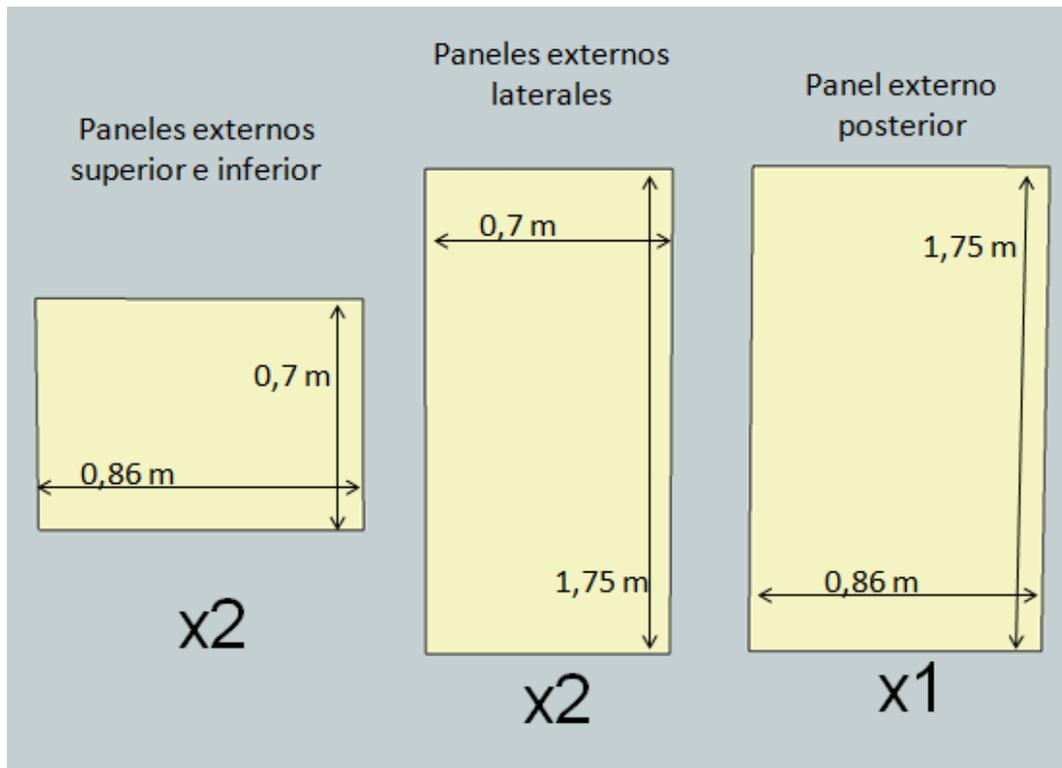
Por último el panel externo posterior tendrá medidas de 1,65 m x 0,76 m más el grosor de los tubos de aluminio de la armazón:

$$\text{Altura del panel externo posterior} = 1,65 \text{ m} + (2 \times 0,05 \text{ m}) = 1,75 \text{ m}$$

$$\text{Ancho del panel externo posterior} = 0,76 \text{ m} + (2 \times 0,05 \text{ m}) = 0,86 \text{ m}$$

A continuación se muestra la figura de los paneles externos de PVC con sus respectivas medidas:

Figura 8. Dimensiones de los paneles externos



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

Se debe minimizar la pérdida de energía debido a la diferencia entre las temperatura exterior e interior, ya que la temperatura externa a la máquina será normalmente menor que la interna; esta diferencia de temperaturas provocará una pérdida de calor interno, en otras palabras, el calor interno fluirá al exterior, por lo que la temperatura interna de la máquina tenderá a disminuir.

Para minimizar este efecto antes de instalar los paneles externos de PVC se deben rellenar los espacios que quedarán entre los paneles internos de lámina y los externos de PVC con algún material aislante; este material

minimizará la transferencia de calor de un ambiente al otro disminuyendo la pérdida de calor interior.

Para esta función aislante se ha elegido el poliestireno expandido o mejor conocido en Guatemala con el nombre de “*duroport*” el cual es un material plástico espumado derivado del poliestireno y utilizado en el sector del envase y la construcción; este material posee cualidades muy deseables para ser el material elegido como aislante, entre las cuales destacan:

- Es un material altamente higiénico por lo que no se pudre, no se enmohece ni se descompone.
- Es un material muy liviano.
- Posee una gran resistencia a la humedad.
- Posee una gran capacidad de absorción de los impactos.
- Es un gran aislante térmico.

Se rellenan como previamente se indicó los espacios entre los paneles externos e internos con planchas de *duroport* pegadas con un pegamento apropiado; las planchas deben tener un espesor de aproximadamente 5 cm para rellenar todo el espacio; en el cálculo de las medidas de los paneles de *duroport* se desprecian las pequeñas interferencias de las escuadras de metal; las dimensiones de las planchas son:

- Una plancha aislante superior y una inferior = 0,6 m x 0,76 m
- 2 planchas aislantes laterales = 0,6 m x 1,6484 m
- Una plancha aislante posterior = 0,7584 m x 1,6484 m

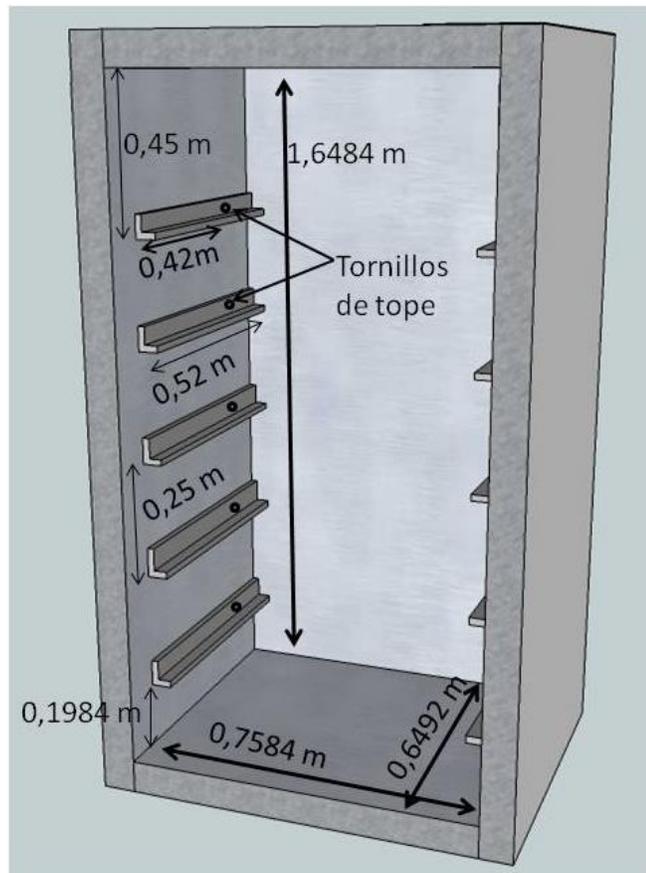
Los soportes que sostendrán las bandejas adentro de la nacedora serán de tubo angular de aluminio de 0,3175 cm de grosor y 3,81 cm de cada lado; además cada soporte debe medir 0,52 m, lo cual equivale al ancho de la bandeja además de 0,10 m para los ventiladores y resistencias del fondo. El primer soporte estará colocado 0,45 m debajo de la parte superior interior del armario; esta distancia comprende 21 cm de altura de la bandeja y 24 cm para el dispositivo de iluminación.

Después del primer soporte cada uno debe estar espaciado por 0,25 m; esta distancia toma en cuenta los 21 cm de altura de la bandeja y 4 cm de seguridad entre bandejas. Luego de colocar el último soporte quedará un espacio en la parte inferior de aproximadamente 19,85 cm reservado para un ventilador y una resistencia.

Los soportes deben ser fijados al interior del armario por medio de tornillos; además es necesario un tornillo como tope para evitar que las bandejas puedan deslizarse hasta el fondo, cuatro tornillos para cada soporte son suficientes para una firme sujeción.

Se debe tener especial cuidado en colocar los soportes ayudados de un nivel o algún otro dispositivo para nivelación similar, ya que una leve inclinación en los soportes equivale a una inclinación en las bandejas, y esta inclinación llevará a los huevos a rodar hacia el lado desnivelado con el evidente riesgo de romperse; además hay que cuidar la correcta ubicación entre ambos soportes paralelos.

Figura 9. **Armario con soportes para las bandejas**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

Finalmente la puerta será fabricada de plástico PVC de 1 cm de grosor pegada a una plancha de *duroport* de 5 cm de grosor, el *duroport* funciona también en la puerta como reductor de la pérdida de calor. La puerta debe tener en el centro una ventana de inspección, la cual estará hecha de acrílico transparente de 1 cm de grosor; dicha ventana tendrá dimensiones de aproximadamente 1 m x 0,20 m. La puerta debe tener la altura de 1,65 m menos el grosor de los paneles de lámina internos inferior y superior; mientras el ancho será de 0,76 m menos el grosor de los paneles internos laterales.

$$\text{Altura de la puerta} = 1,65 \text{ m} - 0,0008 \text{ m} - 0,0008 \text{ m} = 1,6484 \text{ m}$$

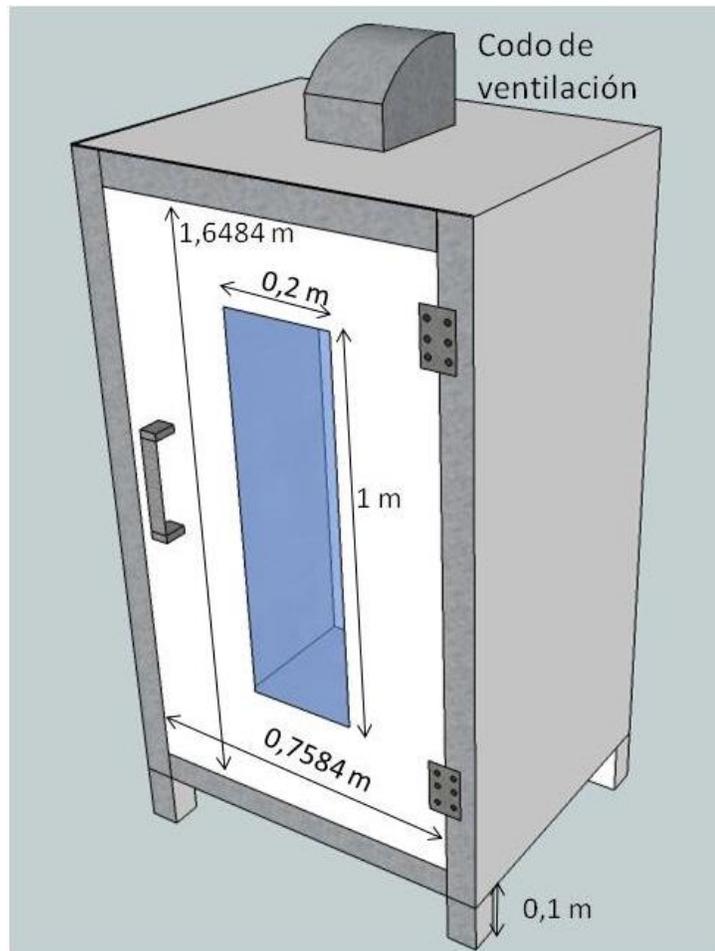
$$\text{Ancho de la puerta} = 0,76 \text{ m} - 0,0008 \text{ m} - 0,0008 \text{ m} = 0,7584 \text{ m}$$

La puerta será fijada mediante tornillos y bisagras a la armazón de tubos cuadrados de aluminio; además debe poseer un agarrador para su cierre y apertura. La ventana de acrílico y la puerta de PVC serán unidas mediante un pegamento especial como silicón industrial, este también unirá los paneles de *duoport* con la estructura; además la estructura debe tener las aberturas para los ventiladores, alambrado, entre otros.

El armario debe también tener en la parte superior una abertura para la colocación de un codo de ventilación para que el aire pueda salir apropiadamente de la máquina sin mezclarse con el aire de la habitación, esto con el fin de evitar que haya riesgo de que aire con poca cantidad de oxígeno sea introducido a la máquina por los ventiladores.

La máquina también requiere de patas que la eleven por lo menos 10 cm sobre el suelo, esto es necesario para permitir al ventilador inferior extraer aire de la habitación e introducirlo en la máquina, porque si la nacedora se encuentra a ras del suelo es imposible que el ventilador pueda introducir aire al interior; estas patas pueden ser fabricadas con los restos sobrantes del tubo de aluminio cuadrado usado para la armazón; es necesario señalar que la máquina debe ser colocada en una habitación suficientemente ventilada e higiénica, para evitar contaminación o mala oxigenación de los huevos.

Figura 10. Puerta y sus dimensiones



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

Finalmente, para que el armario esté concluido debe tener un lugar en el cual se almacene toda la circuitería de la nacedora; para esta función se ha seleccionado una caja de madera *plywood* de al menos un centímetro de grosor, la caja estará ubicada en el lado izquierdo de la máquina y su tamaño dependerá de las placas y dispositivos a albergar. A continuación se muestra la ubicación de la caja para circuitería de la nacedora:

Figura 11. **Ubicación de la caja para circuitería**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

A continuación se muestra una tabla en la cual se analiza el factor económico para el armario y las bandejas de la máquina nacedora:

Tabla II. **Análisis económico del armario de la nacedora**

Descripción del producto	Presentación comercial	Unidades necesarias	Precio por unidad	Costo total
Tubo cuadrado de aluminio	Tubo de 2 in de lado, 3/40 in de grosor y 6 m de largo	3	Q 397,00	Q 1 191,00
Tubo angular de aluminio	Tubo de 2 in por lado, 1/8 in de grosor y 6 m de largo	1	Q 285,00	Q 285,00
Lamina galvanizada lisa calibre 22	Plancha de 3x8 ft y 0,8 mm de grosor	4	Q 128,00	Q 512,00
Plancha PVC de 2 mm de grosor	Plancha de 4x8 ft y 2 mm de grosor	4	Q 78,00	Q 312,00
Plancha PVC de 1 cm de grosor	Plancha de 4x8 ft y 1 cm de grosor	1	Q 395,00	Q 395,00
Planchas de <i>duroport</i>	Planchas de 1,22 m x 2,44 m y 5cm de grosor	3	Q 150,00	Q 450,00
Acrílico transparente de 1 cm de grosor	Pedazo de 1 m x 0,2 m y 1 cm de grosor	1	Q 200,00	Q 200,00
Bandejas de plástico	Bandejas de polietileno de alta densidad	5	Q 67,00	Q 335,00
Bisagras y agarrador	Bisagras de 4 in de tamaño y agarrador	3	Q 8,00	Q 24,00
Servicios de corte y soldadura	Servicio de corte y soldadura del acero		Q 300,00	Q 300,00
Tornillos	Ciento de tornillos galvanizados de 1 in de largo	2	Q 15,00	Q 30,00
Caja de circuitería	Caja de <i>plywood</i>	1	Q 85,00	Q 85,00
Pegamento para los materiales	Tubo de silicón en presentación de 300 mL	1	Q 48,00	Q 48,00

Continuación de la tabla II.

Codo de ventilación	Codo de ventilación de hojalata de 8 in de diámetro	1	Q 175,00	Q 175,00
Escuadras de metal	Escuadra de 3 cm de lado	24	Q 1,20	Q 28,80
Total				Q 4 370,80

Fuente: elaboración propia.

1.4. Razas y características de nacimiento de aves más criadas en el país

Como ya se mencionó con anterioridad; el proceso de incubación de la gallina dura 21 días. Las primeras etapas se inician antes de ser colocado el huevo en la incubadora, en el huevo recién colocado ya es visible una capa de células, la cual se aprecia como un pequeño disco entre la yema y la capa adyacente a la superficie exterior del huevo.

A los tres días de iniciada la incubación, ya se ven pequeños brotes a lo largo del cuerpo del embrión que serán las extremidades en el futuro; el corazón comienza a funcionar, aunque se localiza en la parte externa del embrión. El aparato digestivo se cierra al quinto día, mientras que los pulmones son visibles el sexto día.

A partir del octavo día de incubación se aprecian zonas de densas plumas; la calcificación del esqueleto se inicia a los 10 días, y se completa a los 15 días mientras los picos y uñas ya se encuentran formados el día 16. Transcurridos los 21 días del proceso de incubación y ya una vez formado el polluelo, este se

sirve del diamante o cuerno (minúscula protuberancia situada en el extremo de la mandíbula superior) para romper el cascarón y salir. El cuerno o diamante desaparece a los pocos días de la eclosión.

Figura 12. **Desarrollo embrionario durante la incubación**

Días de incubación	Notas
1	El blastodermo, un pequeño disco sobre la superficie de la yema, desarrolla una corta «línea».
6	El embrión en crecimiento es protegido por una bolsa de fluido que le rodea, el amnios. El alantoides comienza a desarrollarse para cubrir las necesidades respiratorias del embrión que aumentan rápidamente.
19	Ahora el embrión tiene la forma de un pollito totalmente formado. Ya ha sido utilizada toda la clara. El saco vitelino está siendo retirado al interior de la cavidad corporal. Las sacudidas del cuello comienzan a romper las membranas internas de la cámara de aire.
21	La elevada concentración de dióxido de carbono en los gases del interior de la cámara de aire provocan nuevos espasmos del cuello. Posteriormente se rompe la cáscara, o «rotura del cascarón».

Fuente: *Incubación de huevos* .<http://grupo.us.es/gprodanim/PCA/practicaincubacion.pdf>.

Consulta: noviembre de 2014.

La gallina o el pollo al igual que todos los seres vivos identificados tiene una determinada posición zoológica dentro del reino animal al cual pertenece, según los naturalistas la clasificación zoológica de la gallina es como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla III. **Clasificación zoológica de la gallina**

Reino	Animal
Tipo	Vertebrado
Clase	Aves
Orden	Gallináceas
Familia	Fasiánidas
Genero	Gallidos
Especie	Gallina doméstica
Raza	Rhode Island (ejemplo)
Variedad	Rhode Island colorada (ejemplo)
Individuo	Macho

Fuente: BARRIOS TÁNCHEZ, Moisés Elías. *Manual de avicultura: experiencias de Guatemala para iniciarse*. p. 20.

Las gallinas poseen ciertas características que vale la pena mencionar, ya que algunas son importantes en el proceso de incubación, entre ellas destacan:

- Es ovípara ya que nace de un huevo y de esta manera se reproduce.

- Es omnívora por naturaleza, aunque criada para la comercialización tiene una alimentación mayormente basada en granos y concentrados.
- Una gallina no necesita la presencia del gallo para poner huevos, pero los huevos producidos no son fértiles; para que sean fértiles de necesita la participación del gallo.
- La gran gama de colores responde a distintos elementos biológicos, de manera que el negro, rojo, amarillo y gris tiene que ver con diferentes compuestos químicos.
- La gallina es polígama.
- La gallina es dimorfa ya que el gallo y la gallina se diferencian en su aspecto general.
- Las gallinas carecen de glándulas sudoríparas.
- Aún conservan el hábito de dormir en alto como instinto de conservación.
- La gallina ha perdido la habilidad de volar y las alas las usa para ayudarse a bajar y subir de cortas alturas.
- El periodo de incubación y las condiciones ambientales durante la incubación son comunes en la especie, por lo que son iguales para todas las razas de pollos.

Una raza la constituye un grupo de ejemplares de una especie que se distinguen de los demás por ciertas características que comparten entre sí. El desarrollo de la avicultura ha buscado que las características comunes para una determinada raza sean color, forma, productividad y adaptación. Los productos propios de la avicultura son la carne y los huevos de mesa, por lo que las razas para carne han sido desarrolladas con el fin de producir más músculo lo cual equivale a mayor carne, además se busca que la producción de la carne se lleve a cabo en un menor tiempo. Por el otro lado las razas para huevos buscan mejorar la capacidad de las gallinas para poner huevos, así como incrementar el tamaño de los mismos.

En Guatemala, al igual que en los países líderes en la avicultura existen diversas razas para carne y para huevos; en la siguiente tabla se muestran las razas existentes en el país para estas dos funciones:

Tabla IV. **Razas de gallinas existentes en Guatemala**

Razas para huevos	Razas para carne
Lohmann	Arbor Acres
Hy Line	Peterson
ISA	Avian
Dekalb	Hubbard
Sex link negra	

Fuente: BARRIOS TÁNCHEZ, Moisés Elías. *Manual de avicultura: experiencias de Guatemala para iniciarse*. p. 24.

2. AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS INDUSTRIALES

2.1. Introducción

El termino proceso automático es la forma más común de llamar a un sistema de control en lazo cerrado. En el control en lazo cerrado la salida de un sistema se compara con una condición determinada; de esta comparación surge una señal de error, la cual es convertida en una acción de control diseñada para reducir el error. Normalmente el error se debe a un cambio en las condiciones que están siendo controladas.

Los sistemas en lazo cerrado se diferencian de los de lazo abierto, en que los últimos carecen de retroalimentación; debido a esto en un sistema en lazo abierto la salida no cambia según el error entre la salida y la condición determinada, por lo que no existe autorregulación y consecuentemente tampoco hay automatización.

Los controladores en lazo cerrado pueden ser analógicos o digitales. Los analógicos son diseñados mediante amplificadores operacionales; este tipo se usa en aplicaciones bastantes simples. El controlador en lazo cerrado digital o control digital directo es el sistema de control en el que el monitoreo en el lazo de retroalimentación es realizado de forma digital. Entre las tecnologías de control digital directo más conocidas están los microcontroladores, programas de computación y PLC, entre otras. El controlador digital recibe las señales de entrada provenientes de los sensores, luego ejecuta un programa de control y proporciona una señal que es enviada a los elementos de corrección.

Usualmente este tipo de controladores necesitan señales de entrada digitales, ya que procesan la información en forma digital y producen una señal de salida digital. Debido a que la mayor parte de sensores proporcionan una señal analógica es necesario un convertidor analógico a digital ADC (*Analog to digital converter*) para que el controlador digital pueda procesar la información comparándola con el valor de referencia. De manera similar el controlador digital proporciona una señal digital, pero debido a que normalmente los elementos de corrección necesitan señales analógicas las señales digitales deben ser convertidas en analógicas, para esto se utiliza un convertidor digital a analógico DAC (*Digital to analog converter*).

El modo en que la señal de retroalimentación será comparada con el valor de referencia y luego procesada está determinado por el programa de instrucciones que use el controlador para procesar las señales digitales. Es importante mencionar que las tecnologías actuales de control digital como microcontroladores y PLC poseen conversores ADC y DAC internos.

Un controlador digital o control digital directo proporciona mayor precisión que un control analógico debido a que los amplificadores operacionales resistencias y demás dispositivos analógicos varían con el tiempo y la temperatura; estas variaciones introducen un corrimiento, mientras un control digital que procesa señales de tipo encendido-apagado no sufre el corrimiento de la misma manera, por lo que es más confiable.

2.2. Objetivos de la automatización de procesos

La automatización de cualquier proceso es una práctica muy común en la industria actual, casi todas las empresas generadoras de servicios y productos tratan de acuerdo con sus capacidades de inversión; sustituir procedimientos

manuales con procedimientos automáticos. Entre los principales objetivos de la automatización están:

- Disminuir la intervención humana en los procesos de producción y consecuentemente disminuir la necesidad de contratar personal.
- Incrementar la jornada laboral, ya que las máquinas tienen capacidad de operar largos periodos de tiempo a cambio de un leve mantenimiento.
- Incrementar la capacidad de producción de una empresa.
- Facilitar el control de la producción.
- Facilitar la realización de nuevos procedimientos, mediante la reprogramación o nueva adquisición de módulos para las máquinas.
- Aumentar la homogeneidad en la calidad del producto, ya que las máquinas trabajan de la misma manera desde el primer momento hasta el último de la jornada laboral.

2.3. Etapas de un proceso automatizado

Un proceso automatizado en su forma más simple se divide en tres etapas:

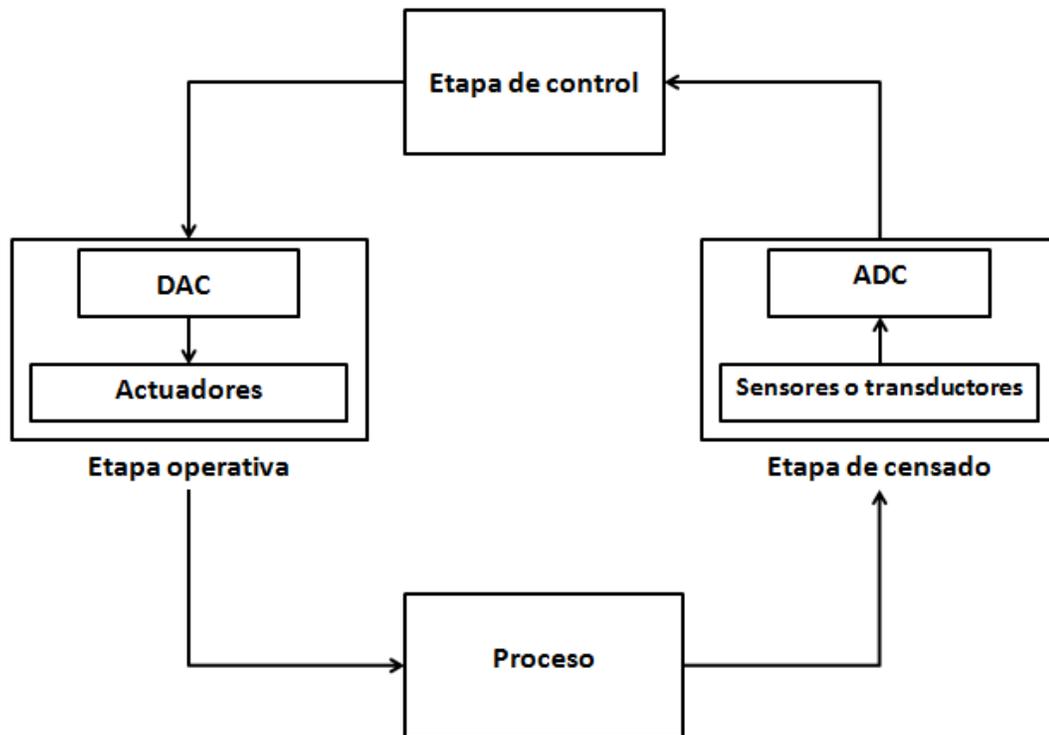
- Etapa de censado: esta etapa la constituyen los dispositivos de medición (sensores, transductores, entre otros). Mediante estos dispositivos se monitorean periódicamente los factores importantes del proceso, como se mencionó previamente esta información es necesaria para determinar

la diferencia entre los factores experimentales del proceso y los factores ideales. La etapa de censado comprende todo el proceso de medición de parámetros y también su transformación para que la etapa de control pueda interpretarlos, por lo que la etapa de control puede necesitar circuitos o dispositivos que transformen señales analógicas en señales digitales.

- Etapa de control: esta se encarga de interpretar los datos suministrados por la etapa de censado, y con dichos datos ejecutar una serie de operaciones, comparándolos con los datos de referencia y así obtener una señal adecuada para corregir el error. Como se indicó previamente la etapa de control puede ser analógica si se realiza mediante amplificadores operacionales y otros dispositivos similares, o puede ser digital si el proceso de la información se realiza digitalmente.
- Etapa operativa: esta etapa abarca la transformación de las señales provenientes de la etapa de control en acciones físicas en el proceso que puedan atenuar y corregir la diferencia entre el valor de referencia y los valores medidos. Como fue mencionado antes, la primera parte de esta etapa puede ser constituida por dispositivos DAC, ya que la mayoría de actuadores funcionan con señales analógicas; pero principalmente la etapa operativa es constituida por actuadores, los cuales son los encargados de reducir el error mediante la retroalimentación en el proceso.

A continuación se muestra una figura en la que se ilustra un proceso automatizado en el cual se señalan las tres etapas previamente descritas:

Figura 13. **Etapas de un proceso automatizado**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

2.4. Factores para la elección de dispositivos

La elección de dispositivos para un proyecto profesional constituye una importante decisión en el proceso de diseño; esta selección no debe de tomarse a la ligera, ya que una mala elección de los dispositivos puede provocar entre otras cosas:

- Pérdida de tiempo: la errónea elección de los dispositivos implica un erróneo diseño de los circuitos. Los circuitos son en su mayoría diseñados especialmente para los dispositivos elegidos, lo que implica que una mala elección significa un nuevo diseño del circuito. La pérdida

de tiempo debida a la errónea elección de dispositivos puede ser más seria de lo que a simple vista parece y si existe un plazo de tiempo para la entrega del proyecto en cuestión, la situación se agrava; además genera un negativo factor psicológico en la persona o grupo encargado del diseño como: ira, frustración, desesperación, imprudencia, entre otros.

- Pérdida de dinero: es evidente que el reemplazar dispositivos por otros implica un gasto no previsto, pero también hay otros gastos como reelaborar las placas impresas para esos dispositivos, con frecuencia también las dimensiones y forma física de los dispositivos elegidos influyen en la estructura de las máquinas o mecanismos, por lo que un reemplazo no previsto de dispositivos puede generar una pérdida de dinero que puede incrementarse exageradamente; haciendo del proyecto un verdadero desastre económico.

La elección adecuada de un dispositivo depende principalmente del factor técnico. El factor técnico abarca las principales características que un dispositivo debe tener, para ser adecuado en una determinada aplicación; dependiendo de la aplicación puede ser que se deba asignar más importancia a una característica que a otra, por ejemplo en la elección de un dispositivo medidor de temperatura puede no ser muy importante la exactitud, pero por el contrario puede ser indispensable que mida la temperatura en todo un intervalo específico. Para la aplicación sobre la cual se desarrolla el presente trabajo las características técnicas más importantes que deben satisfacer los dispositivos son:

- Intervalo
- Exactitud

- Tiempo de respuesta

Estas características deben de ser tomadas en cuenta en la elección de los dispositivos; estas y otras características de los dispositivos son descritas posteriormente. Si se tienen varias opciones de dispositivos que cumplan las especificaciones técnicas, entonces se procede a usar otros criterios para la elección de los dispositivos como el factor económico, la forma física del dispositivo, entre otros. Pero siempre el factor técnico debe prevalecer en la elección del o los dispositivos.

2.5. Etapa de censado

La etapa de censado constituye el monitoreo o medición de determinadas características del proceso que se está automatizando, de manera que comprende principalmente los transductores o sensores que miden continuamente el proceso para poder regularlo y evitar que los parámetros controlados excedan límites dentro de los cuales dicho proceso se desarrolla de manera normal y eficiente.

2.5.1. Transductores

Un transductor es definido como un elemento que al someterlo a un cambio físico experimenta un cambio relacionado con dicho cambio físico al que ha sido expuesto. El transductor genera un cambio de magnitud en una de sus características (resistencia por ejemplo) con un cambio en un fenómeno físico el cual normalmente está tratando de ser medido. Con frecuencia el transductor es llamado también sensor, aunque el término sensor es más extenso y abarca más clases de dispositivos.

El transductor es usado en gran variedad de aplicaciones como la industria, medicina, agricultura, robótica, aeronáutica, entre otras.

Con los transductores se obtiene información de entornos físicos; esta información se genera normalmente en forma de señales o impulsos eléctricos, un transductor también puede transformar impulsos eléctricos en otra clase de energía como mecánica, térmica, entre otras; los transductores siempre consumen cierta cantidad de energía, por lo que la señal resultante se ve en muchos casos atenuada. Un transductor es analógico si genera una salida analógica, cuyo tamaño es proporcional al tamaño de la variable que se está midiendo; los transductores analógicos son continuos. El termino transductor digital no es muy usado, este genera salidas que son digitales por naturaleza; son discretos ya que hay un rango limitado de valores de medición.

En varias ocasiones los transductores suelen ir acompañados de un término, el cual indica la transformación que realiza, por ejemplo:

- Un micrófono es un transductor electroacústico que transforma la energía acústica (oscilaciones en la presión del aire) en energía eléctrica (variaciones de voltaje).
- El termopar es un transductor termoeléctrico porque transforma energía térmica en energía eléctrica mediante la unión de dos alambres de distintos materiales.
- Un ventilador puede ser considerado un transductor electromecánico, ya que convierte la energía eléctrica en energía mecánica (movimiento del aspa).

Los transductores poseen características que definen su funcionamiento y son importantes a la hora de ser relacionados con una particular aplicación; entre las más importantes se pueden mencionar:

- Intervalo y extensión: el intervalo de un transductor define los límites entre los cuales puede variar la entrada. La extensión es el límite superior de medición menos el límite inferior de medición.
- Error: es la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la cantidad que se mide, la magnitud del error es igual al valor medido menos el valor real.
- Exactitud: es el grado hasta el cual un valor producido por un transductor podría estar equivocado. Es igual a la suma de todos los errores posibles más el error en la exactitud de la calibración del dispositivo; es común expresar la exactitud como un porcentaje de la salida a intervalo total. Por ejemplo si la exactitud de un dispositivo fuera $\pm 5\%$ y el rango de medición fuera de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, entonces la lectura podría estar entre $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ de la lectura real.
- Sensibilidad: la sensibilidad indica cuanta salida proporciona el dispositivo por unidad de entrada; en otras palabras salida / entrada. Por ejemplo un termómetro de resistencia puede tener un sensibilidad de $0,3\ \Omega/^{\circ}\text{C}$ lo que indica que cada variación de un grado Celsius en la temperatura produce $0,3\ \Omega$ de variación en la resistencia del dispositivo.
- Error por no linealidad: hay pocos transductores que presentan una relación entrada-salida perfectamente lineal. Sin embargo en algunas

aplicaciones se asume un comportamiento lineal del dispositivo, esta suposición introduce un error.

- Banda muerta y tiempo muerto: la banda muerta se refiere al intervalo de valores de entrada para los cuales no hay salida. El tiempo muerto es el periodo de tiempo que pasa desde la aplicación de una entrada hasta que la salida empieza a responder y cambiar.
- Resolución: si la entrada varía continuamente a través de todo el intervalo, las señales de salida de algunos dispositivos pueden cambiar en pequeños escalones. La resolución es el cambio mínimo en la entrada, el cual produce también un cambio observable en la salida.
- Impedancia de salida: cuando un transductor produce una salida eléctrica se conecta con un circuito electrónico, para esto es necesario conocer la impedancia de salida, ya que el transductor se pondrá en serie o paralelo con el circuito electrónico. En la mayoría de casos el transductor conectado a un circuito electrónico no modifica significativamente el comportamiento de este, pero hay otros casos en los que el comportamiento de los circuitos electrónicos sí se ve afectado considerablemente. La impedancia de salida hace referencia a la carga que introduce el transductor al conectarlo con otros circuitos.
- Tiempo de respuesta: es el tiempo que transcurre después de aplicar una entrada constante, hasta que el transductor produce una salida correspondiente a un porcentaje especificado (podría ser 95 %) del valor estable generado por el transductor con esa misma entrada constante.

2.5.1.1. Elección de los transductores para el censado

Dos son las magnitudes físicas que necesitan ser monitoreadas en la nacedora, estas son la temperatura y la humedad. En el caso de la ventilación únicamente hay que garantizar un flujo adecuado y constante de aire en el interior de la máquina, pero no es necesaria la medición continua de este parámetro.

En el caso de la temperatura el rango adecuado para el nacimiento es de entre 36 °C y 37 °C; aunque antes de encenderse el interior de la nacedora estará a una temperatura cercana a la del ambiente (aproximadamente 20 °C en Guatemala), así que el intervalo del dispositivo debe cubrir este rango de temperaturas. El rango es pequeño, lo cual indica que se requiere un dispositivo bastante sensible que perciba ligeras variaciones de temperatura.

Para la medición de la temperatura se ha elegido un termistor tipo NTC (*Negative temperature coefficient*) de la marca *GE industrial sensing* modelo MA300TA-302C; este termistor está diseñado para aplicaciones biomédicas, posee un intervalo pequeño de medición y tiene además las siguientes características técnicas:

- Gran exactitud en el rango de 35 °C y 39 °C (± 0.15 °C)
- Aceptable tiempo de respuesta para la aplicación (2 s)
- Liviano, compacto y altamente estable
- Intervalo de medición de 0 °C a 50 °C

El coeficiente de temperatura negativo indica que a medida que la temperatura aumenta, la resistencia del termistor disminuye; el intervalo en el cual el dispositivo funciona abarca satisfactoriamente el rango de temperaturas

a medir (desde más o menos 20 °C hasta los 39 °C) en la mayor parte del país. El dispositivo en cuestión permite medir temperaturas prácticamente en todo el país de Guatemala, aunque es prudente mencionar que en lugares muy fríos y en temporadas con temperaturas por debajo de lo usual, la temperatura puede descender y quedar afuera del campo de medición del dispositivo.

A continuación se muestra una tabla que muestra los valores de la resistencia del termistor respecto de la temperatura; estos datos han sido extraídos de la hoja de especificaciones del dispositivo:

Tabla V. **Resistencia contra temperatura para el termistor**

Temperatura (°C)	Resistencia (Ω)
20	3 747,48
21	3 582,49
22	3 425,68
23	3 276,61
24	3 134,84
25	3 000,00
26	2 871,70
27	2 749,59
28	2 633,34
29	2 522,10
30	2 417,19
31	2 316,73
32	2 220,99
33	2 129,52
34	2 042,50
35	1 959,39

Continuación de la tabla V.

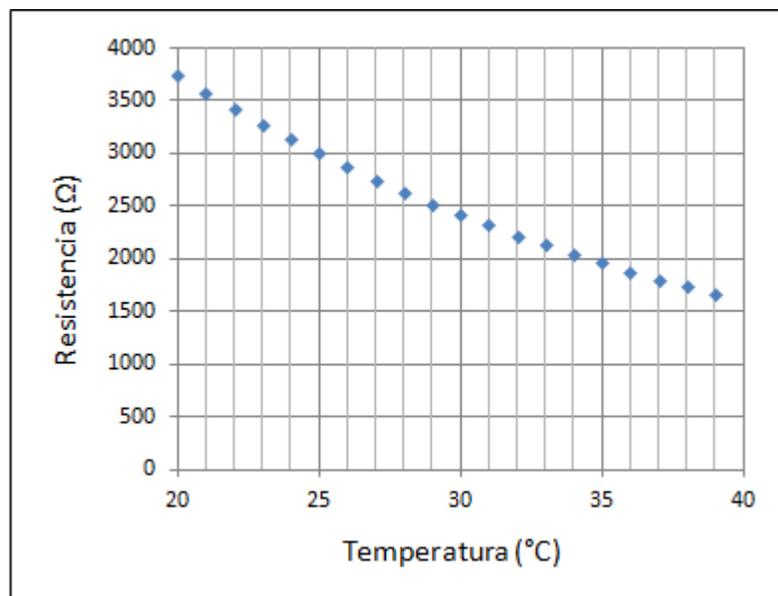
36	1 880,47
37	1 804,94
38	1 732,82
39	1 663,96

Fuente: *Termistor70012601*.

www.alliedelec.com/images/products/datasheets/bm/1_Datasheets/70012601.pdf. Consulta:
febrero de 2015.

Con los datos de la tabla anterior es posible graficar la resistencia (eje y) en función de la temperatura (eje x) para observar con mayor claridad el comportamiento del termistor.

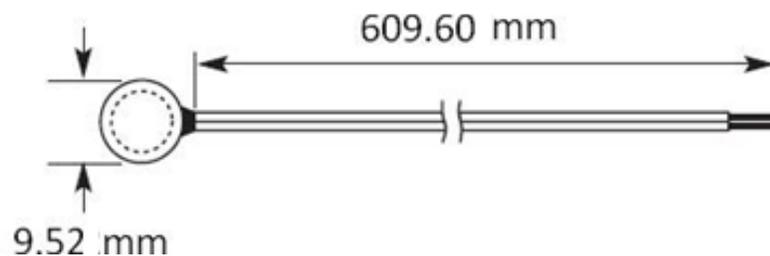
Figura 14. **Comportamiento del termistor de temperatura**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Excel*.

Es necesario indicar que el lugar más adecuado para la instalación del termistor es la parte superior del interior de la nacedora; aproximadamente 25 cm por debajo del techo interior es conveniente para evitar la interferencia del foco con la correcta lectura del sensor. A continuación se muestra la forma y dimensiones del termistor:

Figura 15. **Termistor de temperatura**



Fuente: *Termistor70012601*.

www.alliedelec.com/images/products/datasheets/bm/1_Datasheets/70012601.pdf. Consulta: febrero de 2015.

En el caso de la humedad relativa el intervalo en el interior de la nacedora debe estar entre 70 % y 75 % y al igual que en el caso de la temperatura al encender la máquina la humedad estará usualmente por debajo de este rango. El dispositivo seleccionado para el monitoreo de la humedad es el sensor modelo HIH-4021 de la marca *Honeywell*; este dispositivo puede medir humedad relativa en el intervalo completo (0 % a 100 %) y como respuesta genera un voltaje de salida que varía entre 0,6 V CC y 3,8 V CC según el porcentaje de humedad; el sensor también ha sido seleccionado debido a otras características técnicas entre las que destacan:

- Relación bastante lineal entre voltaje de salida y humedad
- Aceptable exactitud ($\pm 3,5$ %HR)

- Rápido tiempo de respuesta (5 s)
- Bajo desplazamiento de sus características con el tiempo
- Resistencia a los químicos
- Excelente funcionamiento y estabilidad entre 0 °C y 45 °C

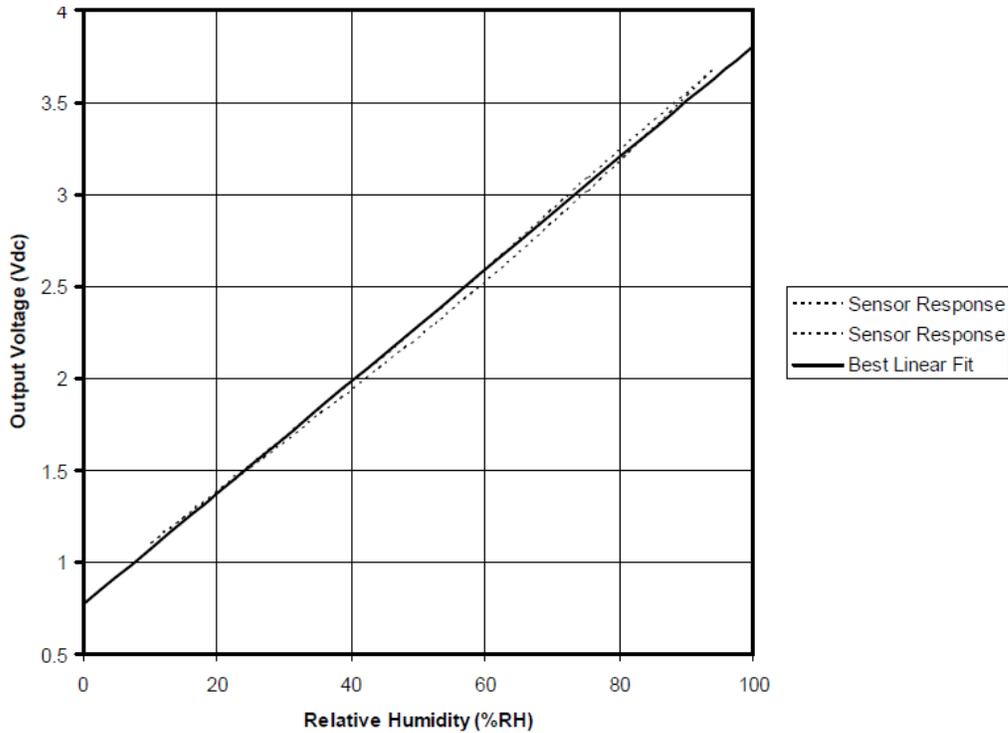
Este sensor funciona adecuadamente cuando es alimentado con corriente continua entre 4 V y 5,8 V; el sensor posee una ecuación característica que describe el voltaje de salida en función de la humedad relativa; dicha ecuación es un modelo lineal, el cual se muestra a continuación y ha sido obtenido de la hoja de especificaciones del dispositivo:

$$V_{(salida)} = V_{(alimentación)} \times (0,0062 \times (\%HR) + 0,16) \quad (2.1)$$

El sensor de la humedad al igual que el termistor es necesario que esté ubicado en la parte interior de la máquina; a diferencia del termistor este puede estar cerca del foco ya que el despreciable calor del foco no afecta las lecturas de la humedad.

En la siguiente grafica se puede apreciar la relación entre el voltaje de salida del sensor y la humedad relativa para una temperatura de 25 °C y una alimentación de 5 V CC; además se muestra la recta de la ecuación anteriormente citada y se nota su gran precisión para describir el comportamiento real del sensor.

Figura 16. **Comportamiento del sensor de humedad**



Fuente: *HIH-4010/4020/4021Series*.

www.alliedelec.com/images/products/datasheets/bm/1_Datasheets/70247005.pdf. Consulta:
febrero de 2015.

2.6. **Etapa operativa**

Como se ha mencionado antes, en la presente investigación se denomina etapa operativa a la sección que tiene por objetivo intervenir físicamente en el proceso de incubación, y mediante esta intervención corregir las diferencias entre los parámetros medidos y los valores de referencia. Esta intervención se realiza por medio de actuadores, los cuales transforman las señales provenientes de la etapa de control en acciones físicas en el proceso.

2.6.1. Actuadores

Se denominan actuadores o sistemas de actuación a los elementos de los sistemas de control que transforman la salida de un sistema controlador en una acción para una máquina o mecanismo. Por ejemplo podría ser necesario transformar una señal eléctrica proveniente de un controlador en una acción física como graduar la cantidad de líquido que pasa por una tubería. Un actuador transforma energía hidráulica, neumática o eléctrica en la actividad de un proceso, con el fin de provocar un efecto sobre un proceso automatizado, existen diferentes clases de sistemas de actuación, siendo los tres principales:

- Actuadores eléctricos
- Actuadores hidráulicos
- Actuadores neumáticos

2.6.1.1. Elección de los actuadores para la etapa operativa

Los actuadores trabajan gobernados por la etapa de control y su funcionamiento depende de las señales de control que reciban; son tres los actuadores que se requieren para la nacedora y son los que deben actuar para regular la temperatura, humedad relativa, y ventilación.

Debido a la menor complejidad del proceso de ventilación se inicia con el análisis de este actuador antes que los de la humedad y temperatura, además la ventilación también ayuda a mantener una temperatura uniforme en toda la máquina. La elección del actuador utilizado para la ventilación es lógicamente el ventilador; dispositivo que extrae aire de su parte posterior y lo envía hacia adelante, distribuyéndolo en el interior de la máquina. La entrada de aire en la

nacedora debe ser de aproximadamente 28,7 m³/h o 17 CFM por cada 1 000 huevos, tomando en cuenta la capacidad de 455 huevos que tiene la nacedora, el flujo de aire apropiado debe de ser de aproximadamente 13 m³/h o 7,65 CFM.

La velocidad del aire debe ser baja, ya que una alta velocidad impide a los huevos absorber la humedad y oxígeno necesarios del ambiente, una velocidad del ventilador por debajo de 5 000 rev/min es la apropiada; tomando en cuenta lo anterior se ha seleccionado para suministrar aire fresco en la nacedora un ventilador de la marca *Sunon* modelo HA50151V4-0000-99, el cual tiene las siguientes características técnicas:

- Voltaje de alimentación 12 V CC
- Consumo de corriente de 0,045 A
- Velocidad de 3 200 rev/min
- Flujo de aire de 7,7 CFM
- Dimensiones de 50 mm x 50 mm x 15 mm

Figura 17. **Ventilador**



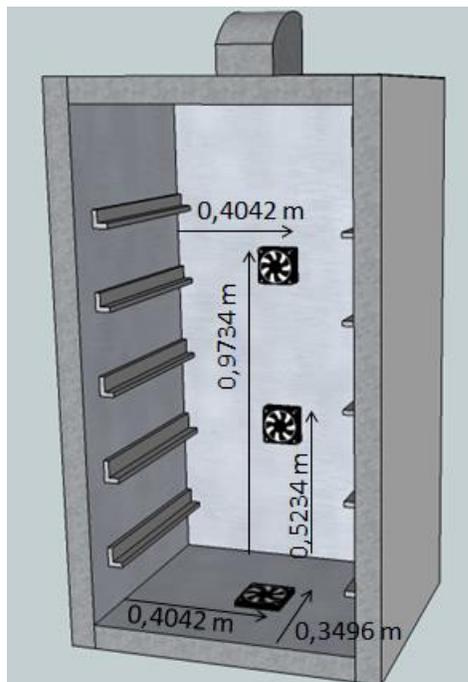
Fuente: *Ventilador70226127*.

www.alliedelec.com/images/products/datasheets/bm/SUNON_INC/70226127.pdf. Consulta:
marzo de 2015.

Es necesario instalar más de un ventilador para mejorar la circulación del aire; se propone el uso de tres ventiladores, uno en el fondo inferior del armario el cual también distribuirá el vapor de agua en todo el interior del armario, este debe estar ubicado totalmente paralelo al fondo del interior de la máquina.

Los otros dos ventiladores deben estar en el fondo interior de la nacedora; estos tienen la tarea de contribuir a la adecuada oxigenación y regulación de la temperatura, es necesario que estos ventiladores estén ubicados con un ligero ángulo de inclinación para que el aire fluya hacia arriba y contribuir así con la ascensión del aire, para que finalmente salga a través del codo de ventilación ubicado en la parte superior; un ángulo de 20 grados para la inclinación de estos ventiladores es adecuado.

Figura 18. **Ubicación de los ventiladores en la nacedora**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

En el caso del actuador para la humedad relativa, primero es necesario indicar que la humidificación en la máquina será realizada por medio de vaporización. Se propone el uso de un depósito de agua conectado por medio de tubería de PVC de 0,5 in de diámetro hasta quedar suspendida a una distancia de entre 3 o 5 cm de una resistencia calentadora sobre la cual se precipitarán gotas de agua a través de un orificio apropiado en el extremo inferior del tubo, la gota al caer en la resistencia cambiará de estado y pasará de estado líquido a gaseoso; luego este vapor será mezclado en el ambiente por el flujo de aire del ventilador ubicado debajo de la resistencia; esto humedecerá el ambiente en el interior de la nacedora.

El orificio para goteo estará ubicado en el extremo final e inferior del tubo e inmediatamente antes debe haber una electroválvula, la cual controlará el flujo de goteo, dependiendo si la humidificación en la máquina es o no necesaria. Evidentemente para saber la cantidad de agua a evaporar y la tasa de goteo se requiere elaborar varias estimaciones para que dicha cantidad de agua satisfaga las necesidades de los huevos y del ambiente.

Es oportuno indicar en este momento que para la descripción de volúmenes se usará además del metro cúbico (medida oficial del SI), el litro, ya que el metro cúbico es una medida de volumen muy grande; además el frecuente uso del litro como medida de volumen en la vida cotidiana facilitará la comprensión de las cantidades.

Se comienza con la definición de la humedad relativa de una masa o volumen de aire la cual es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene esta masa de aire y la que tendría si tuviera la máxima cantidad de vapor de agua posible, a la máxima cantidad de vapor de agua que puede contener el aire a una temperatura específica se le llama presión de saturación

de agua; así cuanto más se aproxima la humedad relativa al 100 % más húmedo está el aire. Inicialmente la humedad relativa debe aumentar desde la humedad ambiental hasta la humedad adecuada para la máquina.

Guatemala es un país muy húmedo y tiene una humedad relativa promedio de 75 %; es evidente que con tal cantidad de humedad en el ambiente es innecesaria la incrementación de la humedad, pues esta cantidad de humedad permitiría el correcto desarrollo de los embriones; sin embargo, ya que la humedad cambia de acuerdo con la estación, la región y otros factores, se considerará para el análisis de la humidificación de la nacedora una humedad relativa ambiental del 60 %.

Para realizar las estimaciones también se asume que el mecanismo calefactor aumenta rápidamente la temperatura por lo que se supondrá con mucha lógica que la temperatura en el interior del armario rondara los 37 °C así que será este el valor de la temperatura usada para calcular las estimaciones relativas a la humidificación, la formula de la humedad relativa se muestra a continuación:

$$\%HR = (p_{(agua)} \div p_{(sat \text{ a } 37^{\circ}C)}) \times 100 \% \quad (2.2)$$

Donde

%HR es el porcentaje de humedad relativa (debe ser 60 % en este caso).

$p_{(agua)}$ es la presión parcial de vapor de agua

$p_{(sat \text{ a } 37^{\circ}C)}$ es la presión de saturación de agua a 37 °C (6 293,1 Pa)

Si se sustituye y se despeja la ecuación (2.2) para la presión parcial de vapor de agua $p_{(agua)}$ con 60 % de humedad se obtiene:

$$0,6 = p_{(agua)} \div p_{(sat \text{ a } 37^\circ C)}$$

$$0,6 = p_{(agua)} \div 6\,293,1 \text{ Pa}$$

$$p_{(agua \text{ a } 60\%HR)} = (0,6) \times (6\,293,1 \text{ Pa}) = 3\,775,86 \text{ Pa}$$

Con el valor de la presión parcial de vapor de agua a 37 °C de temperatura y con 60 % de humedad relativa, se debe determinar el volumen de agua existente en el aire contenido en el interior de la nacedora; para esto se utiliza la ecuación del gas ideal:

$$p \times V = n \times R \times T \quad (2.3)$$

Donde

p = presión = 3 775,86 Pa

V = volumen del gas (volumen interno de la máquina 0,7365 m³)

n = el numero de moles

R = la constante del gas ideal = 8,314 J / mol K

T = la temperatura = 37 °C = 310,15 K

Se resuelve la ecuación (2.3) para el número de moles n y se obtiene:

$$n = (p \times V) \div (R \times T)$$

$$n = ((3\,775,86 \text{ Pa}) \times (0,7365 \text{ m}^3)) \div ((8,314 \text{ J / mol K}) \times (310,15 \text{ K}))$$

$$n = 1,0784 \text{ moles}$$

El número de moles se relaciona con la masa total y con la masa molar promedio por medio de la siguiente ecuación:

$$m_{\text{tot}} = n \times M \quad (2.4)$$

Donde

m_{tot} = la masa total

n = número de moles

M = masa molar promedio (agua en este caso 0,018 kg / mol)

Se despeja de la ecuación (2.4) para la masa total y se sustituyen los valores:

$$m_{\text{tot}} = (1,0784 \text{ moles}) \times (0,018 \text{ kg / mol}) = 0,01941 \text{ kg}$$

La densidad es definida como masa por unidad de volumen:

$$\rho = m \div V \quad (2.5)$$

Donde

ρ = densidad (agua en este caso 1 000 kg / m³)

m = masa = 0,01941 kg

V = volumen

Se despeja la ecuación (2.5) para el volumen y se obtiene:

$$V = m \div \rho = (0,01941 \text{ kg}) \div (1\,000 \text{ kg / m}^3) = 0,01941 \text{ m}^3 \text{ o } 19,41 \text{ mL}$$

El resultado de 19,41 mL es el volumen de agua que contiene un volumen de aire de 0,7365 m³ (volumen del interior de la nacedora) a 37 °C y con una humedad relativa del 60 %. Ahora se procede a estimar la cantidad de volumen de agua pero con una humedad relativa de 73 %, la diferencia de cantidad de

agua entre el mismo volumen con diferentes humedades relativas representa la cantidad de agua necesaria para elevar la humedad relativa en la máquina; así que se realizan los cálculos anteriores pero con una humedad relativa de 73 % y se obtienen los siguientes resultados:

$$p(\text{agua a } 73\% \text{HR}) = 4\,593,963 \text{ Pa}$$

$$n = 1,3121 \text{ moles}$$

$$m = 0,02361 \text{ kg}$$

$$V = 0,02361 \text{ mm}^3 \text{ o } 23,61 \text{ mL}$$

$$V(\text{agua para aumentar la HR de } 60\% \text{ a } 73\%) = 0,02361 \text{ mm}^3 - 0,01941 \text{ mm}^3$$

$$V(\text{agua para aumentar la HR de } 60\% \text{ a } 73\%) = 0,0042 \text{ mm}^3 \text{ o } 4,2 \text{ mL}$$

Esta cantidad de agua es necesaria únicamente para aumentar la humedad relativa en el aire de 60 % a 73 % en el interior de la nacedora, pero además se debe estimar la cantidad de agua que absorben los huevos durante los tres días en cuestión. Un huevo en las mejores condiciones del proceso de incubación debe perder aproximadamente el 12 % de su masa al momento de ser trasladado de la incubadora a la nacedora; durante los tres días que el huevo permanece en dicha máquina pierde aproximadamente 0,75 % de su masa en agua por día; si un huevo promedio tiene una masa de 70 g es posible estimar la masa de agua que pierde el huevo al día, para esto primero se calcula la masa que tiene en el momento de pasar a la nacedora:

$$m(\text{día } 18) = 70 \text{ g} - (70 \text{ g} \times 0,12) = 61,6 \text{ g}$$

La pérdida de peso en agua es 0,75 % de su peso al día, lo que equivale a 0,03125 % de su peso por hora.

Un huevo promedio tiene una masa promedio en el decimoctavo día de incubación de 61,6 g y pierde 0,03125 % de su peso en agua por hora, con estos datos se calculará la pérdida de masa de agua por hora de un huevo y la pérdida total de todos los huevos.

$$\text{Pérdida de peso en agua por huevo} = (61,6 \text{ g}) \times (0,03125 \div 100) = 0,01925 \text{ g/h}$$

$$\text{Pérdida total} = (0,01925 \text{ g/h}) \times 455 \text{ huevos} = 8,758 \text{ g/h}$$

Si se toma en cuenta que el 70 % de un huevo es agua es posible tratarlo como una pequeña masa de agua, y usar nuevamente la definición de densidad de la ecuación (2.5) para obtener el volumen de agua que pierden los huevos por hora:

$$V = m \div \rho$$

Donde

m = pérdida de masa de todos los huevos por hora

$$m = 8,758 \text{ g / h o } 8,758 \text{ mkg / h}$$

$$\rho(\text{agua}) = 1\,000 \text{ kg / m}^3$$

$$V = (8,758 \text{ mkg/h}) \div (1\,000 \text{ kg/m}^3) = 0,008758 \text{ mm}^3/\text{h o } 8,758 \text{ mL/h}$$

$$\text{Pérdida total} = 0,008758 \text{ mm}^3/\text{h} = 8,758 \text{ mL / h o } 0,146 \text{ mL / min}$$

Esta razón de pérdida de agua en los huevos debe de ser compensada por el sistema de humidificación para lograr el correcto desarrollo de los embriones.

Es conveniente que la etapa transitoria en la que la humedad relativa se incrementa gradualmente tenga la misma tasa de humidificación que la necesitada por los huevos, esto con el fin de facilitar el diseño, de manera que, utilizando la tasa de humidificación y el volumen de agua necesario en la etapa transitoria se obtiene el tiempo en que durará la transición entre la humedad relativa ambiental y la humedad adecuada para la máquina.

$$\textit{Tasa de humidificación} = V (\textit{agua en etapa transitoria}) \div \textit{tiempo}$$

$$\textit{tiempo} = V (\textit{agua en etapa transitoria}) \div \textit{Tasa de humidificación}$$

$$\textit{tiempo} = (4,2 \text{ mL}) \div (0,146 \text{ mL / min}) = 28,76 \text{ min} \cong 30 \text{ min}$$

Los 30 minutos inmediatos a la activación de la nacedora el sistema humedecerá el aire para que este alcance la humedad requerida; luego de esos 30 minutos ya con el ambiente propicio se colocan los huevos en la nacedora y ahora el sistema de humidificación proveerá a los huevos con el agua necesaria para su desarrollo. Como previamente ha sido descrito para la humidificación del ambiente dentro de la nacedora, se ha elegido verter el agua por gotas sobre una resistencia calefactora, la cual evaporará las gotas de agua; este vapor será distribuido por medio de ventiladores en todo el interior de un manera uniforme.

La tasa de goteo será graduada por la cantidad de agua contenida en un tanque regulador, este tanque ejercerá una presión sobre el orificio de goteo;

además el tamaño del orificio de goteo realizado en el extremo final del tubo posterior a la electroválvula también tendrá incidencia en la tasa de goteo. Si se supone que una gota de agua promedio tiene una masa aproximada de 0,06 g y un volumen de 0,06 mL, es posible calcular la tasa de goteo para evaporar 0,146 mL de agua por minuto:

$$\text{Gotas por minuto} = (0,146 \text{ mL} / \text{min}) \div (0,06 \text{ mL}) = 2,43 \text{ gotas} / \text{min}$$

Esto quiere decir que el dispositivo humidificador debe dejar caer una gota que aproximadamente tiene un volumen de 0,006 mL cada 24 o 25 segundos. Para lograr esta tasa de goteo se debe experimentar con el tamaño del orificio de goteo, pero principalmente con la cantidad de agua contenida en el tanque regulador para lograr la tasa adecuada; según pruebas realizada con un tanque cilíndrico de 10,5 cm de diámetro y 16,8 cm de altura; este tanque unido a tubería de PVC de 0,5 in de 59 cm de largo en la sección vertical y 48 cm en la horizontal, requirió aproximadamente 827 mL de agua en el tanque y tubo para lograr la tasa de goteo adecuada.

Es conveniente que cuando se obtenga la cantidad de agua en el tanque que provoque la tasa de goteo apropiada, este nivel sea marcado en el tanque, con el propósito de tener una referencia en el nivel de agua que debe tener el tanque regulador al encender la máquina. Además del tanque regulador de la tasa de goteo se propone un segundo tanque auxiliar, cuyo propósito es ser fuente o desfogue de agua, dependiendo de la humedad del ambiente.

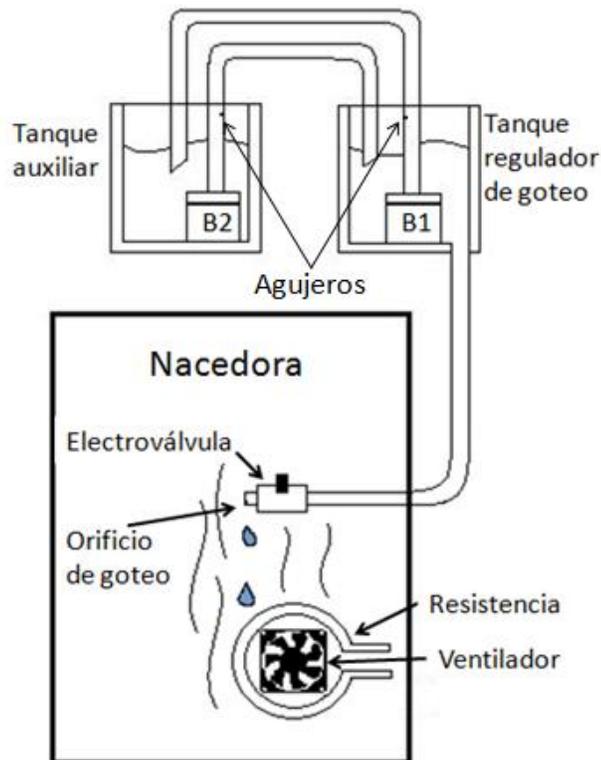
Por ejemplo si el clima está más húmedo de lo normal se necesita una menor tasa de goteo, de manera que una bomba sumergible de acuario (de las que funcionan en las pequeñas fuentes y no de las que solo oxigenan el agua) denominada bomba 1 localizada en el tanque regulador, drenará una cantidad

de agua de este tanque al tanque auxiliar para así reducir la presión y la tasa de goteo; si por el contrario el clima está menos húmedo de lo normal una bomba 2 ubicada en el tanque auxiliar llevará agua del tanque auxiliar al tanque regulador para aumentar la tasa de goteo y con esto aumentar la humedad en el interior de la nacedora.

El tanque auxiliar es también útil a medida que el tanque regulador va consumiendo el contenido de agua, esta disminución provoca también una reducción en la tasa de goteo y con ello también la humedad disminuye; en este caso el sistema activará la bomba 2 para aumentar el nivel de agua y así mantener estable la cantidad de humedad en la nacedora.

En el caso de que la humedad ambiental fuera muy alta entonces la electroválvula se cerraría impidiendo que toda la cantidad de agua contenida en el tubo y en el tanque regulador ejerzan una presión que provoque una tasa de goteo indeseable dada esa hipotética alta cantidad de humedad; sin embargo una reducida cantidad de agua quedaría en el extremo en el que se encuentra el orificio de goteo, pero este volumen de agua al ser muy pequeño provocaría un goteo mínimo despreciable que no elevaría significativamente la humedad de la máquina; a continuación se muestra una figura con el esquema del sistema humidificador.

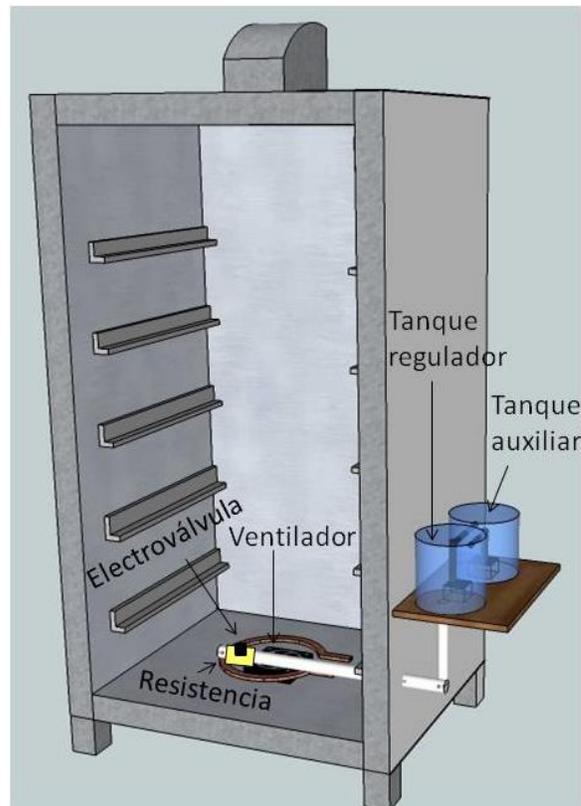
Figura 19. Sistema de humidificación



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Paint*.

Se debe tener especial cuidado en que la unión entre el tubo y el tanque regulador esté totalmente libre de imperfecciones, goteos, entre otros. La capacidad del tanque regulador debe ser superior a la cantidad de agua que será evaporada durante todo el periodo de nacimiento, de manera que si la tasa de goteo es de 8,758 mL / h y el periodo de nacimiento dura tres días y además se considera el periodo de transición de 30 minutos, entonces será evaporado un volumen de 0,635 L de agua. A continuación se muestra la figura de la nacedora con el sistema de humidificación.

Figura 20. **Nacedora con el sistema de humidificación**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

Si durante estos tres días finales del periodo de incubación se evaporan aproximadamente 0,635 L; entonces ambos tanques deben tener una capacidad de al menos 1 L, la cantidad de agua combinada de ambos tanques nunca debe exceder en 0,25 L la capacidad máxima de cada tanque para evitar rebalses en casos extremos, de manera que si cada tanque tiene una capacidad de 1,25 L y si el tanque regulador debe tener 0,827 L para una óptima tasa de goteo, entonces el tanque auxiliar puede tener un volumen máximo de agua de 0,673 L; este nivel también debe ser marcado en el tanque auxiliar para llenarlo antes de activar la máquina.

Las bombas utilizadas para drenar agua de un recipiente al otro deben ser de poca capacidad de flujo volumétrico para poder tener una mejor precisión; para regular la cantidad de agua en los tanques especialmente en el de regulación de goteo, se propone utilizar bombas de la marca *Boyu* modelo SP-500 las cuales tienen una capacidad máxima de flujo volumétrico de 150 L / h; aunque esta capacidad es regulable, además como previamente se menciona es requerida una electroválvula o válvula solenoide la cual debe de ser colocada en el extremo final del tubo de PVC justo antes del orificio de goteo; esto con el fin de poder cerrar o abrir completamente el flujo de goteo; estas válvulas permiten el paso de agua si son polarizadas correctamente y lo evitan en caso contrario.

Figura 21. **Válvula solenoide**



Fuente: *Google*. http://es.made-in-china.com/co_jenney-tang/product_Electric-Zero-Pressure-Solenoid-Water-Valve_esroosiug.html. Consulta: marzo de 2015.

Las válvulas solenoides son fabricadas para funcionar con diversos voltajes tanto con corriente directa como alterna; además son fabricadas para adaptarse a diferentes tipos y medidas de tubería. Para esta aplicación es seleccionada una válvula con un voltaje de polarización de 12 V CC, la cual consume aproximadamente 0,25 A al estar activada, además está diseñada para tubo PVC de 0,5 pulgadas de diámetro. A continuación se muestra una tabla con el análisis económico de la implementación del mecanismo de humidificación de la máquina nacedora:

Tabla VI. **Análisis económico del sistema de humidificación**

Elemento	Costo
Bomba 1	Q 55,00
Bomba 2	Q 55,00
Tanque 1	Q 20,00
Tanque 2	Q 20,00
Tubería de PVC	Q 42,00
Válvula solenoide	Q 95,00
Total	Q 287,00

Fuente: elaboración propia.

Para la elección del actuador para regular la temperatura hay que tomar en cuenta que en un país como Guatemala en el que la temperatura promedio es de 20 °C y teniendo un rango de temperaturas adecuadas, para el funcionamiento de la máquina entre 36 °C y 37 °C; el dispositivo prácticamente debe únicamente aumentar la temperatura, por lo que la elección lógica es la resistencia eléctrica calentadora de aire. La resistencia es un transductor eléctrico el cual transforma energía eléctrica en calor; en la actualidad las

resistencias calentadoras son usadas en un sinnúmero de aplicaciones; la gran mayoría de ellas son fabricadas con un alambre de aleación de níquel (80 %) y cromo (20 %) debido a que esta aleación soporta altas temperaturas, es una aleación resistiva, es resistente a impactos y es inoxidable.

Figura 22. **Típica resistencia calentadora**



Fuente: *Google*. www.sanitariosdelvalle.com.ar/?seccion=rubros&id=29. Consulta: enero de 2015.

La potencia que la resistencia consume y la cual disipa en forma de energía calórica es el factor clave para su selección, por lo que su elección no puede ser aleatoria, ya que la resistencia debe cubrir las diversas pérdidas y demandas de calor que se producirán en el interior de la máquina porque si no se cumplen estas pérdidas, la nacedora nunca alcanzará una temperatura adecuada para el correcto desarrollo de los embriones. Estas demandas y pérdidas de calor deben ser expresadas como potencias, ya que así pueden ser relacionadas con la potencia de la resistencia (parámetro por el cual se

comercializa), estas necesidades de calor serán analizadas independientemente y son las siguientes:

- Calor necesario en el periodo transitorio
- Calor perdido por conducción a través de las paredes de la máquina
- Calor perdido por conducción a través de la puerta de la máquina
- Calor perdido por convección en el interior de la máquina
- Calor requerido por los huevos durante su desarrollo
- Calor perdido por la humidificación del aire interno

La potencia necesaria en el periodo transitorio, es la cantidad de calor que expresada como potencia es requerida para aumentar la temperatura del volumen de aire contenido en la nacedora para que este alcance una temperatura adecuada. La temperatura inicial sera la temperatura ambiente de aproximadamente 20 °C y la temperatura final es 37 °C. La ecuación adecuada para calcular el calor necesario para este periodo transitorio es la ecuación de la cantidad de calor y se muestra a continuación:

$$Q = m \times c \times \Delta t \quad (2.6)$$

Donde

Q = cantidad de calor.

m = masa de aire para el volumen de 0,7365 m³ (0,8838 kg)

c = constante llamada "Calor especifico del aire" (1 012 J/kg K)

Δt = diferencia de temperaturas

$\Delta t = t_2 - t_1 = 37 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 310,15 \text{ K} - 293,15 \text{ K} = 17 \text{ K}$

Si se resuelve la ecuación (2.6) se obtiene:

$$Q = (0,8838 \text{ kg}) \times (1\,012 \text{ J/kg K}) \times (17\text{K}) = 15\,204,8952 \text{ J}$$

La cantidad de calor es un trabajo pero para poder ser relacionado con la resistencia es necesario el concepto de potencia, así que se utiliza la definición de potencia la cual es trabajo realizado en un periodo de tiempo; a continuación se muestra la ecuación de la potencia media.

$$P_{med} = \Delta W \div \Delta t \quad (2.7)$$

Si se utiliza el concepto anterior y se asigna al periodo transitorio una duración de 5 minutos (cantidad que equivale a 300 s), ya que el aumento de temperatura debe durar un periodo corto, se obtiene:

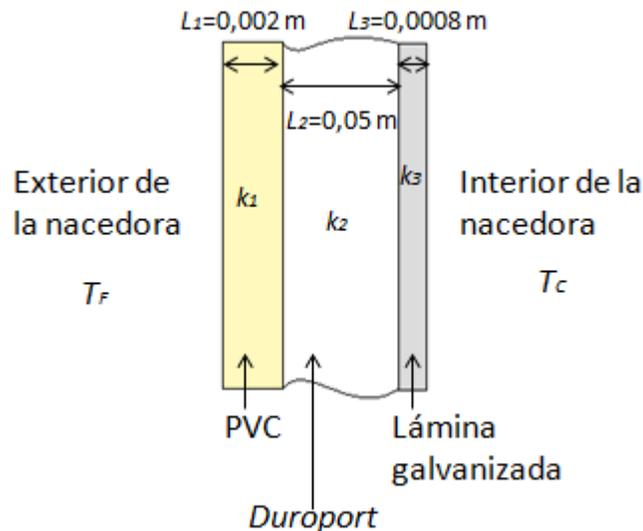
$$P_{med} = \Delta W \div \Delta t = 15\,204,8952 \text{ J} \div 300 \text{ s} = 50,6829 \text{ W}$$

La potencia perdida a través de las paredes se produce debido a que la transmisión de calor por conducción es un proceso basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia; esta transferencia de calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura hacia otro a menor temperatura, el cual está en contacto con el primero.

La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. En el específico caso de la nacedora el calor es conducido exclusivamente desde el interior (mayor temperatura) hacia el exterior (menor temperatura) y fluye a través de la lámina lisa galvanizada que está en contacto con el *duroport* el cual está en contacto con la lámina de PVC y esta a su vez se encuentra en contacto con el ambiente exterior.

La ecuación que permite el cálculo del calor de conducción es la ecuación de corriente de calor en conducción; a continuación se muestra el corte transversal de los diversos materiales que forman las paredes de la máquina; debido a la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la nacedora y a través de la transmisión de calor por el contacto de estos materiales se pierde calor.

Figura 23. **Corte transversal de las paredes de la nacedora**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Paint*.

La ecuación de la corriente de calor en conducción previamente mencionada se muestra a continuación junto con la de la resistencia termica:

$$H = (A \times (T_C - T_F)) \div R \quad (2.8)$$

$$R = (L_1 \div k_1) + (L_2 \div k_2) + (L_3 \div k_3) \quad (2.9)$$

Donde

H = corriente de calor por conducción en watts

T_C = temperatura en el interior de la máquina (37 °C o 310,15 K)

T_F = temperatura en el exterior (20 °C o 293,15 K)

A = área transversal de todas las caras de la nacedora (4,0861 m²)

R = resistencia termica

L_1, L_2 y L_3 = espesores de las diversas capas de materiales

k_1, k_2 y k_3 = conductividades termicas de los diversos materiales

$k_1 = 0,13$ W / mK

$k_2 = 0,03808$ W / mK

$k_3 = 80,20$ W / mK

Con los datos anteriores se procede al cálculo de la resistencia térmica mediante la ecuación (2.9) y con el resultado se determina la corriente de calor por conducción en la ecuación (2.8):

$$R = (0,002 \text{ m} \div 0,13 \text{ W / mK}) + (0,05 \text{ m} \div 0,03803 \text{ W / mK}) + (0,0008 \text{ m} \div 80,20 \text{ W / mK}) = 1,3301 \text{ m}^2\text{K / W}$$

$$H = (4,0861 \text{ m}^2 \times 17\text{K}) \div (1,3301 \text{ m}^2\text{K / W}) = 52,2283 \text{ W}$$

Para estimar la potencia perdida por conducción a través de la puerta de la nacedora al igual que en el caso de las paredes de la máquina, se debe usar la ecuación de la corriente de calor por conducción (ecuación 2.8), con la diferencia que hay que calcular la pérdida a través de la puerta de PVC-*duroport* y a través de la ventana de acrílico:

$$H = H_1 + H_2$$

$$H_1 = A_1(T_C - T_F) \div ((L_1 / k_1) + (L_3 / k_3))$$

$$H_2 = A_2(T_C - T_F) \div (L_2 / k_2)$$

Donde

H_1 = corriente de calor por conducción en la puerta

H_2 = corriente de calor por conducción en la ventana

k_1 = conductividad térmica del PVC (0,13 W / mK)

k_2 = conductividad térmica del acrílico (0,18 W / mK)

k_3 = conductividad térmica del *duroport* (0,03808 W / mK)

A_2 = área de la ventana de acrílico (0,2 m²)

A_1 = área de la puerta sin la ventana (1,05 m²)

L_1 = espesor de la sección de PVC de la puerta (0,01 m)

L_2 = espesor de la ventana de acrílico (0,01 m)

L_3 = espesor del *duroport* (0,05 m)

T_C = temperatura en el interior de la máquina (37 °C o 310,15 K)

T_F = temperatura en el exterior (20 °C o 293,15 K)

Se resuelve la corriente de calor por conducción en la puerta (H_1) y en la ventana (H_2) :

$$H_1 = (1,05 \text{ m}^2 \times 17 \text{ K}) \div ((0,01\text{m} \div 0,13 \text{ W /mK}) + (0,05\text{m} \div 0,03808 \text{ W /mK}))$$

$$H_1 = 12,8422 \text{ W}$$

$$H_2 = (0,2 \text{ m}^2 \times 17 \text{ K}) \div (0,01\text{m} \div 0,18 \text{ W /mK})$$

$$H_2 = 61,20 \text{ W}$$

Es un hecho que la pérdida de calor a través de la ventana es mayor que la pérdida a través del resto de la puerta, esto aun cuando el segmento de la

ventana es mucho más pequeño que el resto de la puerta; se nota aquí el gran efecto aislante del *duroport* para reducir la pérdida de calor. A continuación son sumadas ambas corrientes de calor por conducción:

$$H = H_1 + H_2 = 12,8422 \text{ W} + 61,2 \text{ W} = 74,0422 \text{ W}$$

La potencia perdida por convección se genera cuando un liquido o un gas se mueve y mediante el movimiento transporta el calor entre diferentes zonas con diferentes temperaturas; en el caso particular de la nacedora el aire en movimiento transporta el calor a todos los lugares en el interior de la máquina. La transferencia de calor por convección es descrita por la Ley de Newton del enfriamiento y es la siguiente; además se muestra la ecuación de la resistencia equivalente:

$$Q_{conv} = h A_s (T_s - T_\infty) = (T_s - T_\infty) \div R_{eq} \quad (2.10)$$

$$R_{eq} = ((1 \div h_1 A_s) + (1 \div h_2 A_s)) \quad (2.11)$$

Donde

h = coeficiente de transferencia de calor por convección

R_{eq} = resistencia equivalente

h_1 = coeficiente de convección externo (10 W/m² °C)

h_2 = coeficiente de convección interno (20 W/m² °C)

A_s = área superficial a través de la cual tiene lugar la convección

$A_s = 4,0861 \text{ m}^2$

T_s = temperatura de la superficie (37 °C)

T_∞ = temperatura del fluido muy alejado de la superficie (20 °C)

El coeficiente de transferencia de calor por convección h es un parámetro muy complejo que se determina de manera experimental y depende de varias variables que intervienen en la convección como la geometría de la superficie, la naturaleza del fluido, la velocidad del movimiento, entre otras.

La convección puede ser libre o forzada y el coeficiente de convección para un gas puede estar entre 2 y 250 W/m² °C, dependiendo del tipo de convección y de las variables antes mencionadas; a continuación se muestra la solución de las ecuaciones (2.10) y (2.11).

$$R_{eq} = (1 \div (4,0861 \text{ m}^2 \times 10 \text{ W/m}^2\text{°C})) + (1 \div (4,0861 \text{ m}^2 \times 20 \text{ W/m}^2\text{°C}))$$

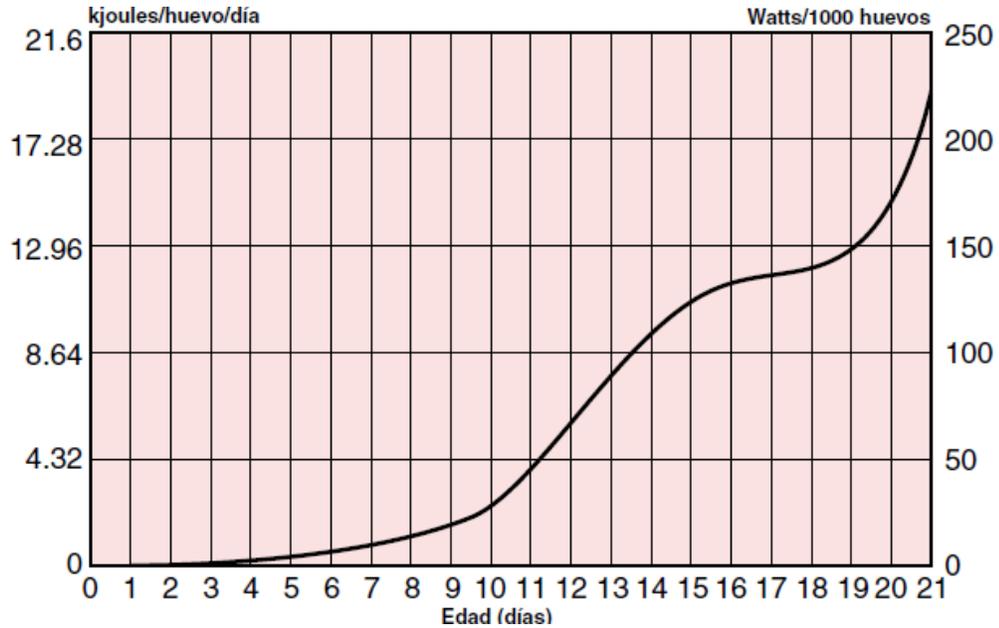
$$R_{eq} = 0,03670 \text{ °C/W}$$

$$Q_{conv} = (37 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) \div (0,03670 \text{ °C/W}) = 463,0913 \text{ W}$$

Los huevos necesitan calor para su desarrollo, así que es lógico que exista una cantidad de calor requerida por los huevos durante la incubación; en los últimos tres días del proceso es cuando más calor producen los huevos; esta cantidad de calor es proporcionada por el ambiente en que estos se encuentran.

A continuación se muestra una gráfica de la producción de calor de los huevos durante los 21 días del periodo de incubación:

Figura 24. **Producción de calor del huevo durante la incubación**



Fuente: *Guía de manejo de la incubadora*. www.cobb-vantress.com/languages/guidefiles/e420c01f-a164-4890-9963-60c1e332bf40_es.pdf. Consulta: abril de 2015.

De la gráfica anterior es necesario centrar la atención en el calor producido por los huevos durante los últimos días de incubación. Durante el día diecinueve la producción de calor del huevo se mantiene bastante estable, en este día se supone una producción promedio de calor de 12 kJ por huevo por día. Durante el día veinte la producción de calor promedio es supuesta en 14 kJ, mientras en el último día será de 17 kJ por huevo por día. Si se suman las tres cantidades antes descritas se obtiene una estimación de la producción de calor por huevo durante los últimos tres días de incubación; esta producción de calor es trabajo y si es relacionada con el tiempo (3 días o 259 200 s) mediante la definición de potencia descrita en la ecuación (2.7) se obtiene:

$$P_{med} = \Delta W \div \Delta t$$

$$P_{cada\ huevo\ durante\ los\ tres\ dias\ finales} = (12\text{ kJ} + 14\text{ kJ} + 17\text{ kJ}) \div (259\ 200\text{ s}) = 0,1658\text{ W}$$

$$P_{todos\ los\ huevos\ durante\ los\ tres\ dias\ finales} = 0,1658\text{ W} \times 455\text{ huevos} = 75,4390\text{ W}$$

La humidificación del aire dentro de la máquina también supone un calor necesario para generar el cambio de fase en la masa de agua a evaporar para humedecer el ambiente interno; esta cantidad de agua a evaporar se estimó previamente en el análisis del sistema de humidificación de la máquina y es de aproximadamente 8,758 mkg por hora; se recurre ahora a la ecuación de transferencia de calor en un cambio de fase, la cual se muestra a continuación:

$$Q = m \times L_v \quad (2.12)$$

Donde

m = masa que cambiara de fase (agua en este caso 8,758 mkg / h)

Q = cantidad de calor (en Joules)

L_v = calor de vaporización del material a cambiar de fase (agua)

$L_v = 2,256 \times 10^6\text{ J/kg}$

Se sustituyen los valores en la ecuación (2.12) y se resuelve:

$$Q = (8,758\text{ mkg}) \times (2,256 \times 10^6\text{ J/kg}) = 19\ 758,0480\text{ J}$$

Ya que esta cantidad de calor es requerida en el periodo de una hora se usa esa cantidad de tiempo (3600 s) para obtener la potencia con la ecuación (2.7):

$$P = 19\,758,048 \text{ J} \div 3600 \text{ s} = 5,4883 \text{ W}$$

A continuación se muestra una tabla que resume los diversos factores a considerar para la potencia del dispositivo calefactor, según el análisis resulta adecuada la elección de una serie de resistencias calentadoras que conjuntamente puedan disipar aproximadamente 725 W en forma de calor, para mantener la temperatura correcta en el interior de la nacedora.

Tabla VII. **Calor requerido por la nacedora**

Potencia en el periodo transitorio	50,6829 W
Potencia de conducción a través de las paredes de la máquina	52,2283 W
Potencia de convección en el interior de la máquina	463,0913 W
Potencia de conducción a través de la puerta de la nacedora	74,0422 W
Potencia requerida por los huevos para su desarrollo	75,4390 W
Potencia de humidificación del aire	5,4883 W
Potencia total	720,9720 W

Fuente: elaboración propia.

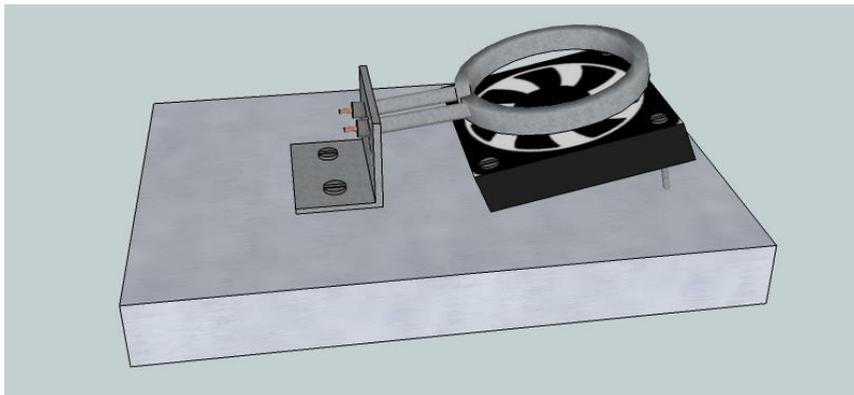
Es conveniente para lograr una mejor y sobre todo una uniforme distribución del calor en el interior de la máquina que exista más de una resistencia que caliente el interior. Previamente se mencionó la conveniencia de tres ventiladores para mejorar la ventilación, de igual manera es conveniente que exista una resistencia calefactora de aproximadamente 250 W (debido a que 242 W no es un valor comercial) paralela aproximadamente dos centímetros sobre cada ventilador para lograr una mejor distribución del calor,

principalmente en las bandejas superiores, las cuales están más alejadas del fondo.

Hay que considerar que siendo los ventiladores pequeños en tamaño se necesitan resistencias pequeñas que puedan ser impactadas por la mayor parte del flujo de aire proveniente de los ventiladores.

Además entre más grandes son las resistencias más grande es la potencia que disipan, lo cual indica que para disipar 250 W (cantidad pequeña) la resistencia debe tener un reducido tamaño; según una cotización realizada cada resistencia tendría un diámetro de aproximadamente 7 cm y un desarrollo (extensión total de la resistencia) de aproximadamente 25 cm para poder disipar 250 W; también deben poseer roscas en sus extremos para poder fijarlas a las escuadras de metal que las mantendrán fijas; a continuación se muestra una figura en la cual se muestra la instalación de la resistencia con el respectivo ventilador.

Figura 25. **Instalación de cada par resistencia-ventilador**

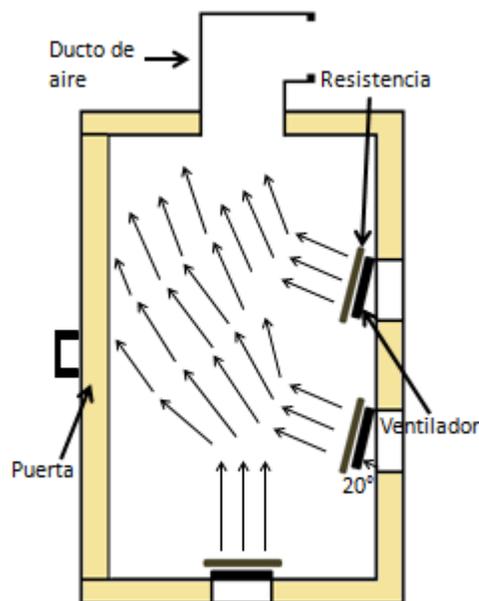


Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

Es apropiado recordar que tal y como fue mencionado en su momento al hacer referencia de los ventiladores, es necesario que cada pareja ventilador-resistencia tenga una inclinación de aproximadamente 20 grados (excepto la pareja del fondo); esto para facilitar la circulación del aire hacia arriba de la nacedora, el uso de tres pares ventilador-resistencia en vez de uno aumenta la uniformidad en la distribución del aire, con lo cual se mejora la correcta distribución de la temperatura especialmente en la parte superior.

El aire calentado por las resistencias es distribuido de forma turbulenta en todo el interior de la máquina, consiguiendo así una adecuada distribución del aire y de la temperatura en la nacedora; las paredes internas de acero también contribuyen debido a su alta conductividad térmica a homogeneizar la temperatura.

Figura 26. **Distribución del aire en el interior de la nacedora**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

2.7. Etapa de control

Como ya fue mencionado previamente, la etapa de control tiene la función de procesar señales, las cuales son información proveniente de la etapa de censado; normalmente el procesamiento de la información se lleva a cabo mediante instrucciones y datos de referencia que constituyen un programa el cual ejecuta el controlador cíclicamente. Después de procesar los datos el controlador entrega como resultado señales para que la etapa operativa pueda corregir la diferencia entre la señal real y la medida por los sensores. En la industria la etapa de control de un proceso es realizada casi exclusivamente por procesadores digitales. Entre las más extendidas tecnologías de control digital están las antes mencionadas:

- PLC (*Programable Logic Controller*)
- PAC (*Programable Automation Controller*)
- Microcontroladores
- Programas de computadora

2.7.1. PLC

Un PLC es un dispositivo electrónico digital que usa memoria programable para guardar instrucciones y realizar funciones lógicas de secuencia, sincronización, conteo y aritméticas, con el objetivo de controlar máquinas, procesos entre otros. El PLC fue concebido en 1968 y está diseñado para programarse con facilidad; además este tipo de procesador también es llamado lógico, ya que la programación tiene que ver principalmente con la ejecución de operaciones lógicas y de conmutación.

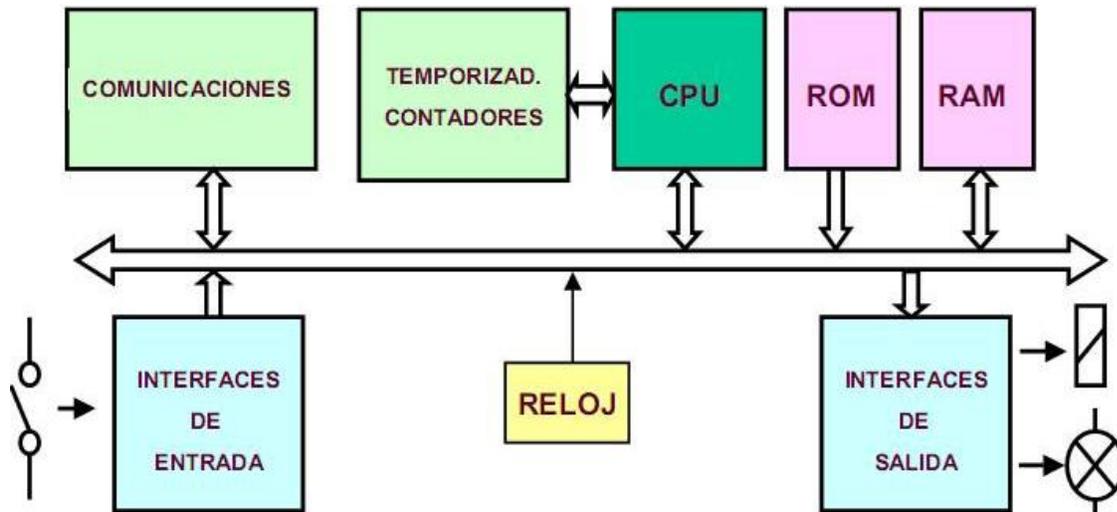
Al PLC son conectados dispositivos de entrada y de salida y este debe revisar las entradas y controlar las salidas mediante el programa que previamente fue almacenado en él; en un principio el propósito del PLC era sustituir la conexión física de relevadores de los sistemas de control lógicos y de sincronización.

El PLC es un sistema flexible capaz de controlar sistemas muy diversos en su naturaleza y su complejidad; también son más rápidos que los sistemas a base de relevadores. La estructura interna básica de un PLC consiste en una CPU (*Central processing unit*), memoria y circuitos de entrada/salida. La CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC.

El PLC cuenta internamente con un temporizador cuya frecuencia normalmente está entre 1 y 8 MHz; esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y constituye la manera de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un sistema de buses lleva información y datos desde y hacia la CPU, la memoria y las unidades de entrada y salida.

Entre los elementos de memoria está una memoria ROM (*Read Only Memory*) para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos; también posee una memoria RAM (*Random Access Memory*) para el programa y memoria *buffer* temporal para los canales de entrada/salida. A continuación se muestra la arquitectura interna básica de un PLC:

Figura 27. **Arquitectura básica de un PLC**



Fuente: Google. <http://4.bp.blogspot.com/-aC1SwfimUio/Tk3D4SwclzI/AAAAAAAAABc/Zj3Nn0xS9TM/s1600/estructura.jpg>.

Consulta: febrero de 2015.

La unidad de entrada/salida es la interfaz entre el sistema y el mundo externo y es donde el procesador recibe información desde dispositivos externos y también comunica información a dispositivos externos, las interfaces de entrada/salida ofrecen aislamiento y funciones de acondicionamiento de señal, de manera que, sensores y actuadores con frecuencia pueden conectarse directamente sin circuitos intermedios.

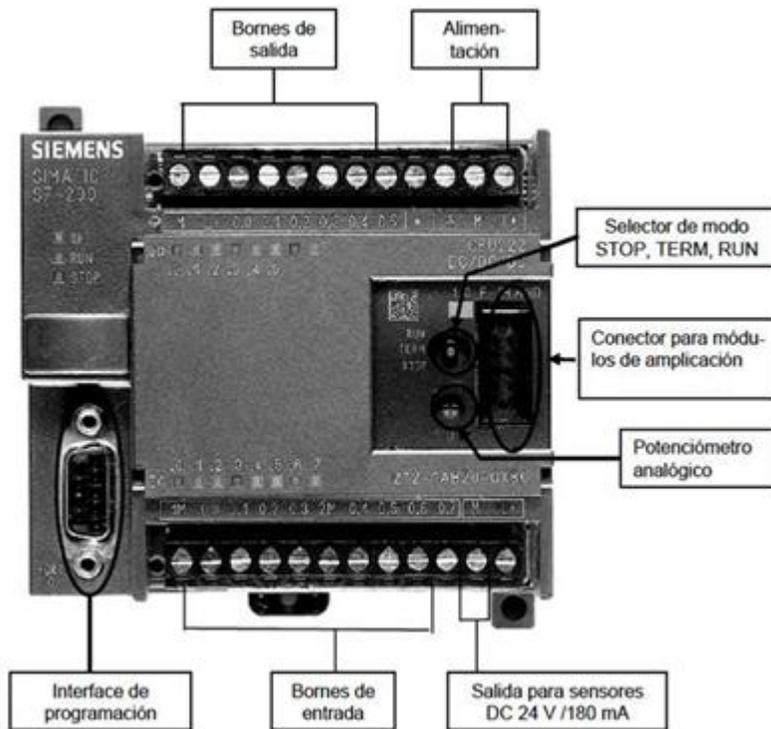
Las entradas pueden provenir de interruptores, sensores de temperatura, entre otros, mientras las salidas pueden activar circuitos de potencia para un motor, luces indicadoras de algún evento determinado, entre otros. La señal digital que por lo general es compatible con el PLC es 5 y 12 V CC, aunque varios modelos de PLC pueden procesar señales de voltajes mayores.

Los programas se introducen dentro de la unidad usualmente por medio de un enlace con una computadora que se carga por un paquete de software apropiado, solo cuando el programa se ha diseñado en el software apropiado y está listo se transfiere a la memoria del PLC.

Los PLC también pueden programarse a través de pequeños dispositivos con unidades de visualización que permiten programar sin necesidad de computadora. Las formas de un PLC son muy diversas, pueden haber unidades pequeñas que parecen cajas pequeñas y sencillas; estos PLC poseen un paquete compacto integral y completo con suministro de potencia, procesador, memoria y unidades de entrada/salida; es usual que este tipo de PLC pueda tener 6, 8, 12 o 24 entradas y 4, 8 o 16 salidas y una memoria que pueda almacenar de 300 a 1 000 instrucciones.

Las unidades con mayor cantidad de entradas y salidas usualmente son modulares y están diseñadas para encajar en los *racks*, los cuales consisten en módulos separados para el suministro de potencia, el procesador, la entrada/salida, entre otros, y están montados en carriles dentro de un gabinete de metal. El tipo *rack* tiene varias unidades funcionales empacadas en módulos individuales que pueden conectarse en enchufes en una base de *rack*; el usuario decide la mezcla de módulos según la aplicación particular; de manera que el número de conexiones entrada/salida aumentan con agregar más módulos. A continuación se muestra un PLC con sus principales terminales:

Figura 28. Típico PLC y sus terminales



Fuente: *Mirada general del hardware siemens modelos s7.*

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/2150512/ContenidoLinea/leccin_18__mirada_general_d el hardware_siemens_modelos_s7.html. Consulta: febrero de 2015.

Un PLC continuamente funciona a través de su programa el cual se actualiza como resultado de las señales de entrada; cada lazo de este estilo se llama normalmente ciclo. En un PLC la CPU normalmente escanea los canales de entrada mientras las instrucciones del programa lo requieran, el monitoreo de estas señales de entrada tienen un efecto en el programa determinado. Hay un retardo integrado de aproximadamente 3 ms cuando se revisa cada entrada para asegurar que se lean solo entradas válidas. Este retardo permite al PLC evitar que se cuente dos veces una señal de entrada, sobre todo si hay un rebote de contacto en un interruptor.

Las salidas se cierran de manera que retengan su estado hasta la siguiente actualización, a esta manera de procesamiento del programa se le llama actualización continua. El PLC debe ser capaz de identificar cada entrada y salida específica y lo hace asignando direcciones a cada una, de la misma manera que las casas tienen un número para poderlas identificar de las otras. En los PLC pequeños usualmente la dirección es solo un número precedido de una letra, la cual indica si es salida o entrada, por ejemplo Mitsubishi y Toshiba tienen entradas identificadas como X400, X401, X402; mientras las salidas las identifica como Y430, Y431, entre otros.

En el caso de un PLC más grande con varios *racks* de entrada/salida y una cantidad de módulos en cada *rack*, los *racks* y los módulos están numerados y se identifica una salida o entrada por el número de *rack* seguido por el número de módulo de ese *rack* y luego un número para mostrar su número terminal en el módulo. Por ejemplo un PLC *Allen-Bradley* identifica una entrada I:012/03, la I indica entrada, el 01 indica el *rack* 1, el 2 indica el módulo 2 y finalmente el 03 indica la terminal 3.

La forma más común de programación que se utiliza con los PLC es la programación escalera o *ladder*; en este lenguaje cada tarea del programa se especifica como un escalón de escalera; esta forma de programación consiste en elaborar un programa de forma similar a como se dibuja un circuito de contactos eléctricos.

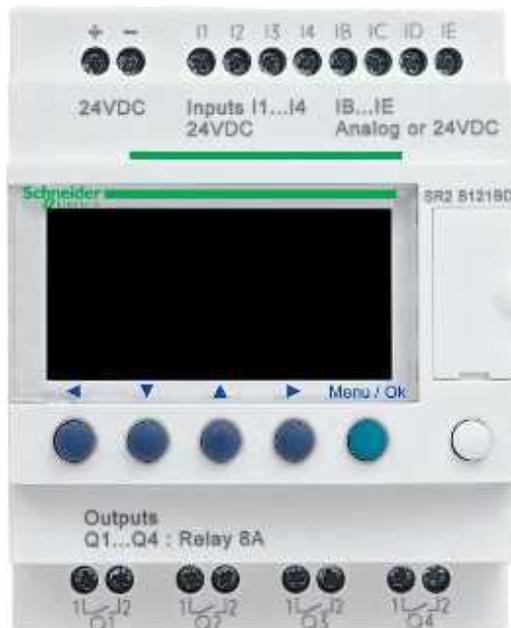
El diagrama de escalera tiene dos líneas verticales que representan las líneas de alimentación, los circuitos están conectados como líneas horizontales, es decir los escalones de la escalera, entre las dos líneas verticales.

En el diseño de la línea del circuito para un escalón, las entradas siempre preceden a las salidas y tiene que haber al menos una salida por línea; además, cada escalón debe empezar con una o varias entradas y terminar con una salida. Cada uno de los escalones de un programa en escalera representa una línea del programa y la escalera entera constituye el programa completo. El usuario puede introducir el programa dentro del PLC con un teclado con símbolos gráficos para los elementos de la escalera, o con una pantalla de computadora y un ratón para seleccionar los símbolos, luego el panel del programa o computadora traduce estos símbolos en lenguaje de máquina que puede almacenarse en la memoria del PLC.

Los símbolos que representan las instrucciones del programa en lenguaje escalera son llamados códigos mnemónicos o simplemente mnemónicos, aunque cada fabricante de PLC tiene su propio programa tipo escalera y con ello sus propios mnemónicos hay estándares internacionales bastante aceptados y usados como el IEEE1131-3.

En el lenguaje escalera las funciones lógicas como AND, OR, NAND, entre otras, se pueden obtener con una combinación de interruptores normalmente cerrados y normalmente abiertos; además el lenguaje escalera ofrece instrucciones en forma de símbolos para realizar funciones de conteo, temporización, saltos condicionales, comparaciones de datos entre otras variadas operaciones. En el caso de la aplicación en discusión se ha seleccionado un PLC de la marca *Schneider Electric* de la línea *Zelio Logic* modelo SR2B121JD, el cual es un PLC pequeño compacto con 4 entradas digitales, 4 entradas analógicas y 4 salidas sin posibilidad de extenderlas, requiere una alimentación de 12 V CC y además posee una pantalla LCD (*Liquid crystal display*) incorporada. A continuación se muestra la imagen del PLC seleccionado.

Figura 29. **PLC modelo SR2B121JD de *Schneider Electric***



Fuente: *Controllers (PLC & PAC)*. www.schneider-electric.com/en/product-range-selector/531-zelio-logic/?filter=business-1-automation-and-control&parent-category-id=3900. Consulta: junio de 2015.

Algunas otras características técnicas importantes e interesantes sobre el PLC elegido son:

- El PLC tiene un peso de 0,250 kg.
- LCD de 4 líneas y 18 caracteres por línea.
- El PLC puede tolerar voltajes de alimentación entre 10,4 V y 14,4 V CC.
- Corriente de entrada nominal del PLC de 120 mA.

- Impedancia de entrada en los puertos analógicos de 14 k Ω .
- Máximo voltaje no destructivo en los puertos analógicos de 14,4 V CC.
- Conversión analógica a digital de 8 bits funcionando en un rango de 0 a 10 V CC con un LSB equivalente a 39 mV CC.
- Contactos de salida con capacidad máxima de 8 A.
- Los contactos de salida pueden conmutar voltajes entre 5 y 30 V para CC y entre 24 y 250V para CA.
- Tiempo de respuesta de 5 ms de estado 1 a estado 0 en los contactos de salida y 10 ms de estado 0 a estado 1.
- Dimensiones de 10,76 mm x 71,20 mm x 59,50 mm.

La línea *Zelio Logic* a la cual pertenece el PLC seleccionado se programa con el software *Zelio Soft 2*, el cual es un lenguaje fácil, amigable e intuitivo que permite al usuario programar y simular en lenguaje *ladder* o en lenguaje FBD (*Functional Block Diagram*), según la elección del programador, dicho software funciona para toda la línea *Zelio Logic*. El lenguaje FBD permite programar gráficamente con base en el uso de bloques predefinidos de funciones; estos bloques comprenden funciones de conteo, retraso, temporización, generación de pulsos, comparaciones analógicas, visualización LCD y funciones lógicas entre muchas otras.

2.7.2. Ventajas del PLC

Los PLC poseen varias ventajas que los hace ser los controladores digitales más usados en aplicaciones industriales entre estas ventajas destacan:

- Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y ruido.
- La interfaz para las entradas y las salidas están dentro del controlador.
- Es muy fácil programarlos.
- Algunos modelos ofrecen expansión de salidas y entradas mediante módulos adicionales.
- Permiten ahorrar tiempo y dinero en la elaboración de proyectos, pudiendo realizar modificaciones sin costos adicionales.
- Son dispositivos de tamaño reducido y mantenimiento de bajo costo.
- Permiten controlar más de una máquina o mecanismo con el mismo equipo.
- Son flexibles y pueden ser reprogramados para controlar otros sistemas de manera rápida y fácil.

3. DISEÑO DE LAS DIVERSAS ETAPAS DEL PROCESO

3.1. Introducción

Anteriormente cuando se hablo sobre la elección de los transductores y actuadores se expuso de manera detallada la forma en que en la nacedora serán monitoreadas la temperatura y la humedad; también se expuso la manera en que estos parámetros serán regulados con base en las mediciones provenientes de los transductores. En este capítulo se analizan y proponen los diversos circuitos que lograrán el correcto funcionamiento de los dispositivos que previamente han sido seleccionados, sin los circuitos adecuados los transductores y actuadores no pueden ni medir la temperatura y humedad mucho menos corregir eficientemente los desequilibrios en estos parámetros.

3.2. Diseño de los circuitos con transductores para la etapa de censado

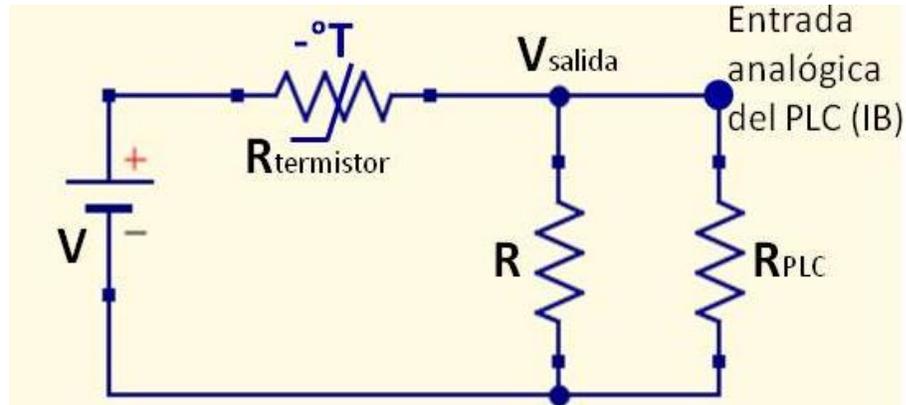
Como se ha mencionado anteriormente el PLC posee conversores ADC internos, los cuales transforman las señales analógicas en señales digitales para su procesamiento interno; así que no es necesario utilizar circuitos externos ADC para convertir las señales provenientes de los actuadores, ya que el PLC puede realizar esta función mediante una apropiada programación. La lectura del valor analógico se realiza correctamente solo si la magnitud cambia en un definido intervalo de valores.

En el caso del PLC elegido para la aplicación, este posee un conversor interno de 8 bits, lo cual indica que puede registrar 255 valores en todo el rango analógico de conversión, posee un rango de conversión de 0 V CC a 10 V CC; en el caso de la temperatura es conveniente trabajar en el más amplio rango posible de ese intervalo para así conseguir más precisión en las lecturas.

En el caso del sensor de humedad este posee sus propias y particulares características, entre las cuales ya fue mencionada su variación de salida lineal entre 0,6 V y 3,8 V CC cuando es alimentado con 5 V CC. Analizando primero el caso de la temperatura, es necesario transformar los cambios de resistencia provenientes del termistor para que estos cambios constituyan un cambio de voltaje en un intervalo amplio en el rango de 0 y 10 V CC.

Para convertir el cambio de resistencia del termistor en un cambio de voltaje se coloca el termistor en serie con una resistencia; ambos dispositivos en serie son alimentados por una fuente de voltaje, cuando el valor del termistor cambia también cambia la caída de voltaje tanto en él como en la resistencia; además es necesario considerar que la salida que servirá como voltaje de referencia se pondrá en paralelo con la impedancia que constituye la entrada analógica IB del PLC; sin esta consideración el circuito tendría un mal funcionamiento, ya que el PLC cambiaría el valor del voltaje medido y consecuentemente las mediciones de la temperatura serán inexactas. A continuación se muestra el diagrama del circuito:

Figura 30. Circuito del termistor



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Quite Universal Circuit Simulator*.

Si R_T es la resistencia equivalente a las resistencias en paralelo R y R_{PLC} y se realiza el análisis del circuito utilizando la Ley de Ohm, se obtiene la siguiente expresión para el voltaje de salida:

$$V_{salida} = (V \times R_T) \div (R_{termistor} + R_T) \quad (3.1)$$

La ecuación 3.1 se despeja y se resuelve para R_T usando la resistencia mínima del termistor ($1\,080,93\ \Omega$) y utilizando un voltaje de $11,3\ \text{V CC}$ para la fuente V y un voltaje de salida deseado de $8\ \text{V CC}$.

$$R_T = (1\,080,93 \times 8) \div (11,3 - 8) = 2\,620,4336\ \Omega$$

A continuación se iguala el resultado de R_T igualándolo con el equivalente de la resistencia paralela de R y R_{PLC} ; además se usa $14\ \text{k}\Omega$ (impedancia de entrada del PLC) para el valor de la resistencia R_{PLC} y se obtiene lo siguiente:

$$R_T = (R \times R_{PLC}) \div (R + R_{PLC})$$

$$2\,620,4363 = (14\,000 \times R) \div (14\,000 + R)$$

$$(2\,620,4363 \times 14\,000) + (2\,620,4363 \times R) = (14\,000 \times R)$$

$$R = (2\,620,4363 \times 14\,000) \div (14\,000 - 2\,620,4363)$$

$$R = 3\,223,8589 \, \Omega \cong 3,2 \, \text{k}\Omega$$

Ya que se debe usar valores de resistencias comerciales una resistencia de 3,2 k Ω es un valor convenientemente próximo al obtenido del cálculo matemático. A continuación se usan los valores extremos que puede tomar el termistor para determinar el intervalo de voltaje que proporcionará el circuito como respuesta al cambio de resistencia en el termistor.

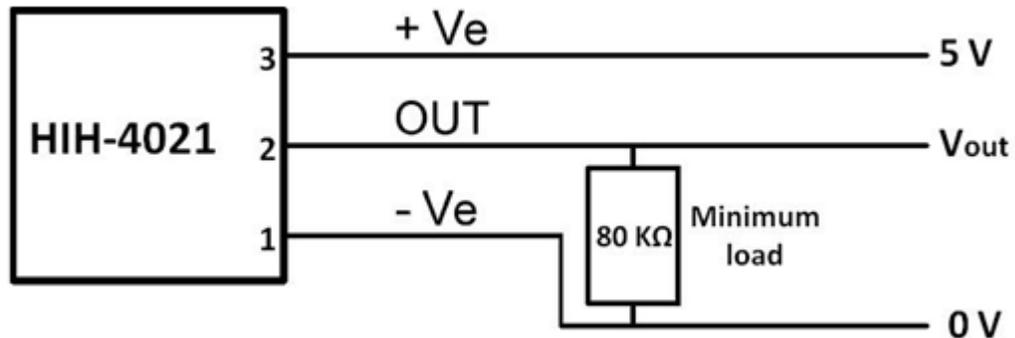
$$V_{(\text{salida con termistor } 9\,795,16 \, \Omega)} = 2,3736 \, \text{V}$$

$$V_{(\text{salida con termistor } 1\,080,93 \, \Omega)} = 7,9858 \, \text{V}$$

El circuito para el transductor será capaz de transformar satisfactoriamente los cambios de resistencia producidos en el termistor en cambios de voltaje dentro de un rango apropiado para el puerto analógico del PLC. El anterior circuito demanda máxima corriente de la fuente cuando el valor de resistencia en el termistor es menor; el valor de la corriente en ese caso es de aproximadamente 3,1 mA.

El sensor de humedad HIH-4021 posee su específica forma de conexión proporcionada por el fabricante, funcionando de esta manera el sensor consume hasta 0,5 mA; la forma de conexión ha sido extraída de la hoja de especificaciones del dispositivo y se muestra a continuación:

Figura 31. **Conexión del sensor de humedad**



Fuente: *Sensor70247005*.

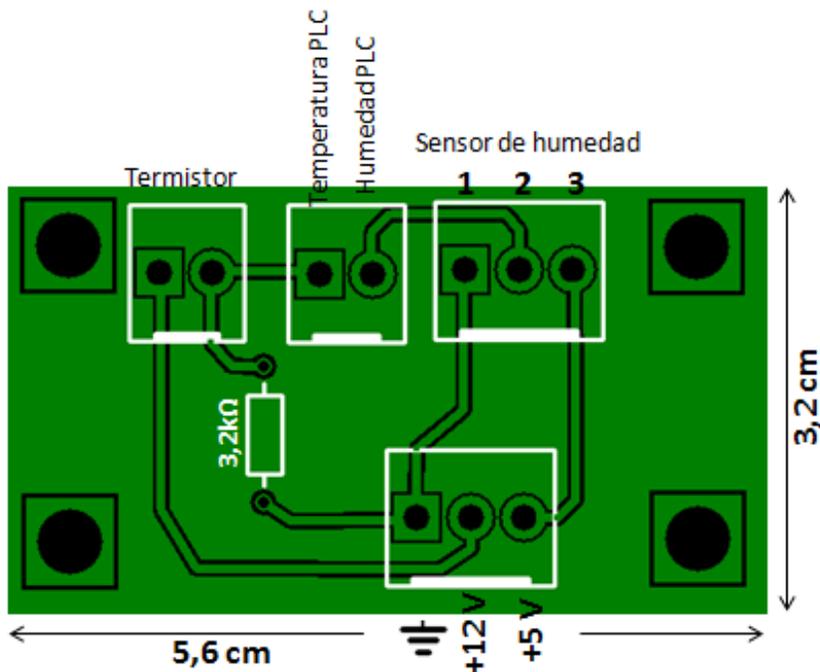
www.alliedelec.com/images/products/datasheets/bm/1_Datasheets/70247005.pdf. Consulta:
febrero de 2015.

Si la carga mínima requerida por el sensor no es cumplida entonces el dispositivo tiene un desempeño irregular y carece de estabilidad; debido al hecho de que las entradas analógicas del PLC tienen una impedancia de entrada de 14 kΩ no es necesario colocar la resistencia de carga mínima, ya que la entrada analógica constituye una entrada que satisface la condición. El voltaje de salida V_{out} es conectado a la entrada analógica IC del PLC para su respectiva lectura.

Es conveniente que en una misma placa de circuito impreso se encuentren ambos circuitos sensores, ya que esto permite un mejor control, revisión y corrección, en caso de presentarse algún inconveniente en el funcionamiento; a continuación se muestra el diseño de la placa para los circuitos sensores de temperatura y humedad; los números en la bornera de tres entradas para el sensor de humedad indican la terminal a la cual debe ir conectada el dispositivo.

El termistor tiene la particularidad de carecer de polaridad y las terminales que hacen referencia al PLC indican conexión a dos entradas analógicas siendo la entrada de temperatura la entrada IB y la de humedad la IC del PLC.

Figura 32. **Placa para los sensores de temperatura y humedad**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *ExpressPCB*.

A continuación se muestra una tabla con el análisis económico de todos los componentes requeridos para la tarjeta de circuito impreso de la etapa de censado para la máquina nacedora:

Tabla VIII. **Análisis económico para la placa de censado**

Dispositivo	Precio
Un sensor HIH-4021	Q 154,60

Continuación de la tabla VIII.

Una resistencia de 3,2 k Ω y 0,25 W	Q 0,70
4 borneras	Q 10,50
Elaboración de la placa de circuito impreso	Q 20,00
Un termistor MA300TA302C	Q 46,20
TOTAL	Q 232,00

Fuente: elaboración propia.

3.3. Diseño de los circuitos para la etapa de operativa

Los circuitos necesarios para la etapa operativa son cinco; cuatro de estos son interruptores electrónicos, el restante se refiere al mecanismo de los ventiladores para proporcionar el constante flujo de aire fresco, y es el circuito de los ventiladores el primer circuito en ser diseñado para lo cual se utiliza una onda cuadrada de 10 kHz de frecuencia, con un ciclo de trabajo de 0,8, lo cual significa que durante el ochenta por ciento del periodo la onda estará en estado alto o activo mientras el veinte por ciento lo estará en estado bajo.

Para esto se utiliza un integrado IC 555 configurado como multivibrador estable; esta forma de regular el funcionamiento del ventilador se denomina PWM (*Pulse width modulation*), aunque en la aplicación en cuestión el ciclo de trabajo nunca cambiará, ya que no es necesario debido a que el flujo de aire debe ser siempre constante; entre las ventajas que ofrece esta técnica están:

- Incrementa la vida útil del dispositivo
- Evita que el dispositivo se sobrecaliente

- Usando esta forma de modulación el circuito consume menos corriente

El integrado 555 tiene una configuración específica cuando trabaja como multivibrador astable, además tiene algunas ecuaciones proporcionadas por los fabricantes que permiten calibrar la frecuencia a la que oscila además de configurar el tiempo alto y bajo de esa onda; a continuación se muestran las ecuaciones y el cálculo de las resistencias y capacitores para que el circuito oscile con las características previamente mencionadas.

$$f = 1,44 \div ((R_1 + 2R_2) \times C) \quad (3.2)$$

$$t_{alto} = 0,693 \times (R_1 + R_2) \times C \quad (3.3)$$

$$t_{bajo} = 0,693 \times R_2 \times C \quad (3.4)$$

Donde

f = frecuencia (10 kHz)

T = periodo de la onda y equivale al inverso de la frecuencia (0,1 ms)

R_1 = resistencia entre la terminal 7 del 555 y el voltaje de alimentación

R_2 = resistencia entre la terminal 7 y la terminal 6 del 555

C = valor del capacitor entre la terminal 2 del integrado y tierra.

t_{alto} = fracción del periodo en que la señal está activa (0,08 ms)

t_{bajo} = fracción del periodo en que la señal está baja (0,02 ms)

Se asigna un valor comercial al capacitor de 100 nF y se resuelve la ecuación (3.4) para R_2 , como se muestra a continuación:

$$R_2 = t_{bajo} \div (0,693 \times C)$$

$$R_2 = 0,02 \text{ ms} \div (0,693 \times 100 \text{ nF}) = 288,600 \Omega \cong 290 \Omega$$

Ahora con el valor de R_2 se resuelve la ecuación (3.3) para R_1 , como se muestra a continuación:

$$R_1 = (t_{alto} \div (0,693 \times C)) - R_2$$

$$R_1 = (0,08 \text{ ms} \div (0,693 \times 100\text{nF})) - 290 \Omega = 864,401 \Omega \cong 860 \Omega$$

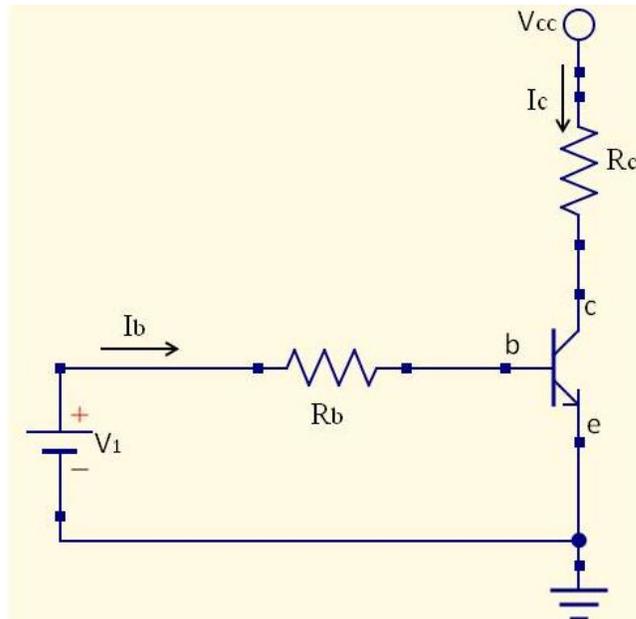
De manera que para que el IC 555 oscile a una frecuencia de 10 kHz con un ciclo de trabajo de 0,8 es necesario un capacitor C de 100 nF, una resistencia R_2 de 290 Ω y una resistencia R_1 de 860 Ω .

El circuito del 555 activará tres transistores NPN 2N2222 en configuración de emisor común, sin resistencia de emisor; en esta configuración el transistor alterna entre el estado de saturación (si la unión base-emisor es polarizada directamente) y el estado de corte (si la unión base-emisor es polarizada inversamente).

Debido a esta alternancia de estados es que esta configuración es ampliamente usada como interruptor, ya que el transistor en corte actúa como un circuito abierto entre el colector y el emisor, mientras que en estado de saturación actúa como un circuito cerrado entre el colector y el emisor.

A continuación se muestra el transistor en dicha configuración:

Figura 33. Configuración “emisor común sin resistencia de emisor”



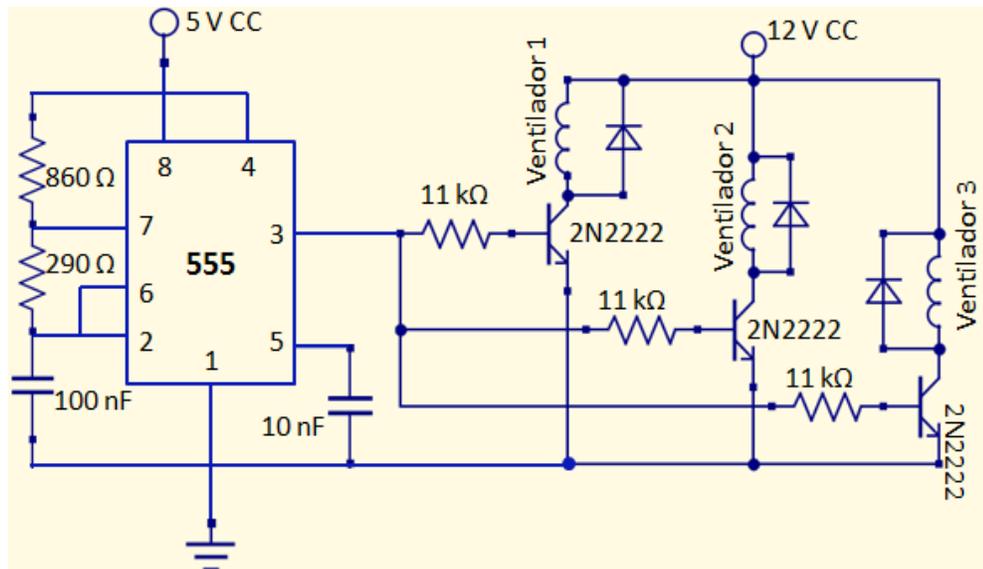
Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Quite Universal Circuit Simulator*.

Se realiza el análisis del circuito anterior, mediante la ley de tensiones de *Kirchhoff*, se usan las fórmulas y características del transistor 2N2222; se asignan valores de voltaje para las fuentes y se utiliza la impedancia del ventilador sustituyendo la resistencia de colector; entonces es sencillo obtener el valor de la resistencia de base adecuado para activar cada ventilador.

$$R_b \cong 11 \text{ k}\Omega$$

Además en el circuito a cada ventilador se debe conectar un diodo rectificador 1N4001 colocado de manera inversa y en paralelo con cada ventilador; a este diodo se le llama “diodo de rueda libre” y elimina el repentino pico de voltaje generado en una carga inductiva cuando la alimentación es bruscamente interrumpida. A continuación se muestra el diagrama completo:

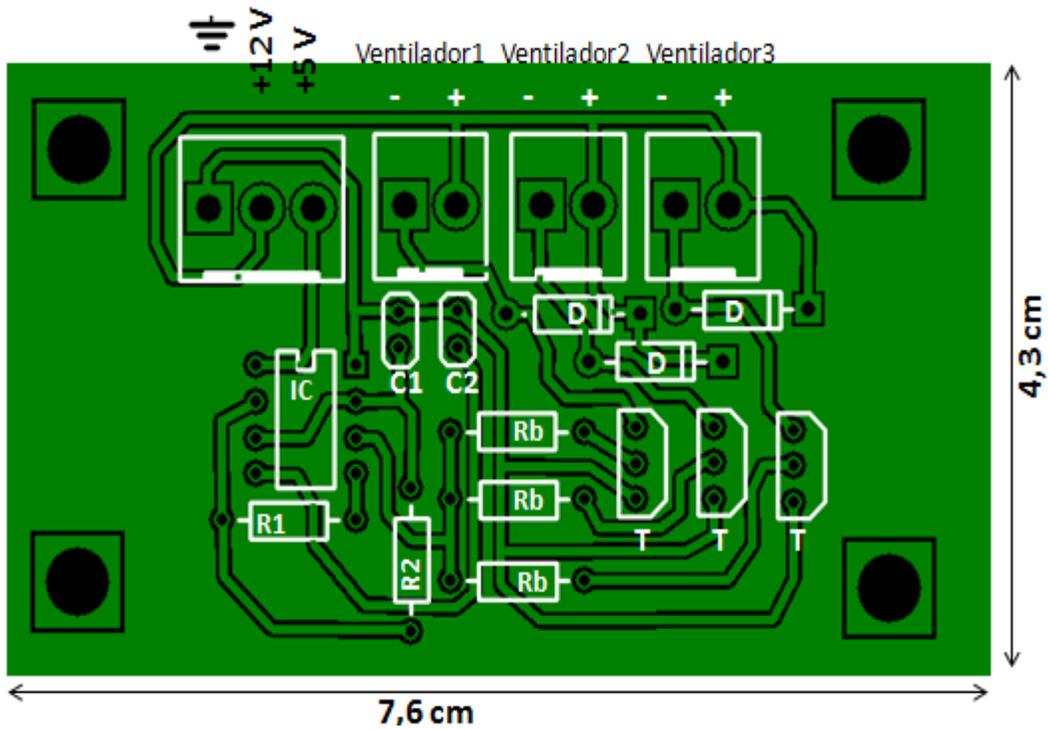
Figura 34. **Circuito con 555 para el funcionamiento de los ventiladores**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Quite Universal Circuit Simulator*.

Se diseña una tarjeta de circuito impreso exclusivamente para el circuito de los tres ventiladores, el cual requerirá una corriente de aproximadamente 135 mA para los ventiladores y 15 mA para el integrado, funcionando como multivibrador; en dicha placa los diodos D corresponden a diodos 1N4001; el integrado Ic es un LM555, la resistencia R1 tiene un valor de 860 Ω, la resistencia R2 es de 290 Ω; las tres resistencias Rb corresponden a 11 kΩ; el capacitor C1 tiene un valor de 100 nF mientras el valor de C2 es de 10 nF y finalmente los tres transistores T corresponden a transistores 2N2222. A continuación se muestra la placa de los ventiladores:

Figura 35. **Placa para el accionamiento de los ventiladores**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *ExpressPCB*.

A continuación se muestra la tabla que analiza el monto económico de la elaboración de la placa de circuito integrado para el accionamiento de los ventiladores.

Tabla IX. **Análisis económico de la placa de control de los ventiladores**

Dispositivo	Precio
Un integrado IC 555	Q 5,00
5 resistencias de 0,25 W	Q 3,50
4 borneras	Q 9,75
3 transistores 2N2222	Q 4,50

Continuación de la tabla IX.

3 diodos 1N4001	Q 3,00
3 ventiladores <i>Sunon</i> HA50151V4-0000-99	Q117,00
2 capacitores cerámicos	Q 3,00
Elaboración de la placa de circuito impreso	Q 23,00
TOTAL	Q 168,75

Fuente: elaboración propia.

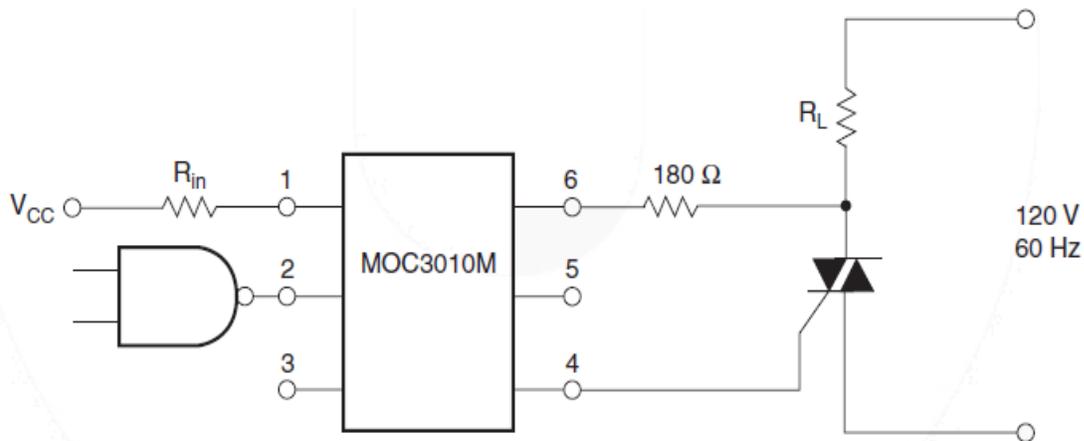
Para controlar las tres resistencias calentadoras se propone el uso de un optoaislador, dispositivo que se compone básicamente de un *led* infrarrojo y un fotodetector, el cual puede ser un diodo de silicio; un par de transistores Darlington u otro dispositivo fotosensible, se ha elegido el optoaislador MOC 3010, el cual activará un *triac* que funcionará como interruptor, activando la resistencia calentadora.

La función del optoaislador es aislar eléctricamente la etapa de baja potencia del PLC de la de alta potencia requerida por la resistencia; cada resistencia calefactora consume aproximadamente 2,5 A de corriente, por lo que cada *triac* debe soportar una mayor corriente para tener un adecuado margen de seguridad. El *triac* seleccionado es el BTA208800B, el cual puede soportar una corriente en estado de conducción de 4 A.

Es necesario señalar que para un mejor funcionamiento y mayor duración de los *triacs* es recomendable el uso de un disipador apropiado para cada uno.

En la siguiente figura se muestra la configuración sugerida en la hoja de especificaciones del fabricante para controlar una carga resistiva (resistencia calentadora) con un *triac* y con un optoaislador MOC3010.

Figura 36. **Circuito con optoaislador para carga resistiva**



Fuente: MOC3023M. www.fairchildsemi.com/datasheets/MO/MOC3023M.pdf. Consulta: junio de 2015.

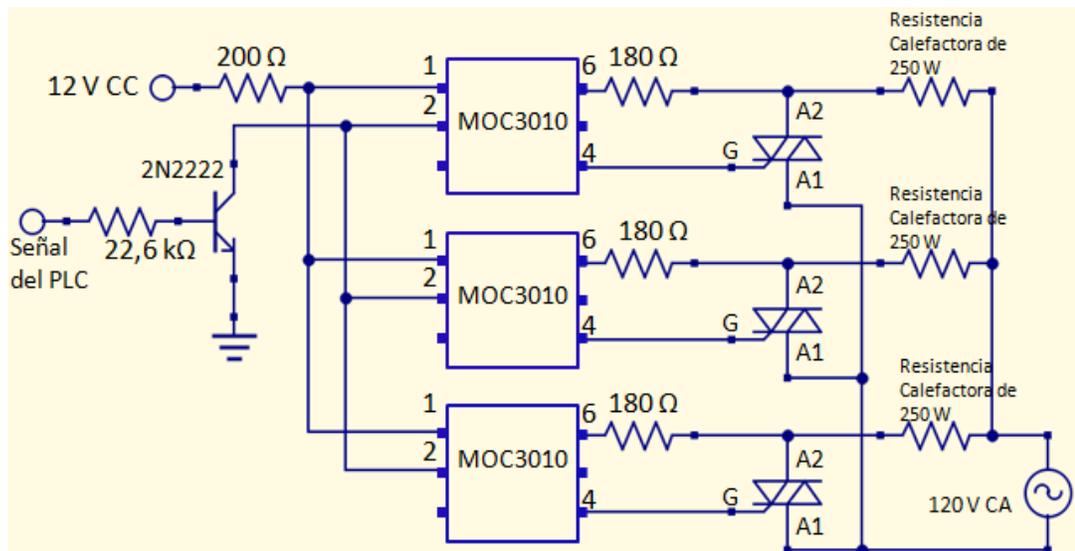
Tomando en cuenta las especificaciones del fabricante del optoaislador se suponen para el *led* infrarrojo interno una corriente de 20 mA, una caída de voltaje de 1,2 V para el *led*, además se asigna a la fuente un voltaje de 12 V CC y se considera el hecho de que la señal controladora es proveniente del PLC y es de 12 V CC. Con las anteriores consideraciones se elige utilizar un transistor NPN 2N2222 en configuración emisor común, similar a la usada en circuitos anteriores para activar el *led* interno de cada optoaislador y así activar también el funcionamiento de cada una de las tres resistencias de manera simultánea; con las suposiciones antes mencionadas se obtienen los siguientes valores de resistencia de base y colector:

$$R_c \cong 200 \Omega$$

$$R_b \cong 22,6 \text{ k}\Omega$$

Se considera el circuito con optoaisladores y *triacs* una opción más segura aún y cuando los contactos de salida Q del PLC pueden conducir una corriente máxima de 8 A, esto tomando en cuenta que las tres resistencias combinadas consumen 7,5 A ya que el PLC es un dispositivo muy valioso para arriesgarlo con una corriente tan cercana al límite de conducción; a continuación se muestra el circuito completo con el transistor, optoaisladores y *triacs* diseñado para controlar la carga resistiva que constituye cada resistencia calentadora; la corriente requerida por este circuito es de aproximadamente 60 mA de corriente continua:

Figura 37. **Circuito para activar las resistencias**

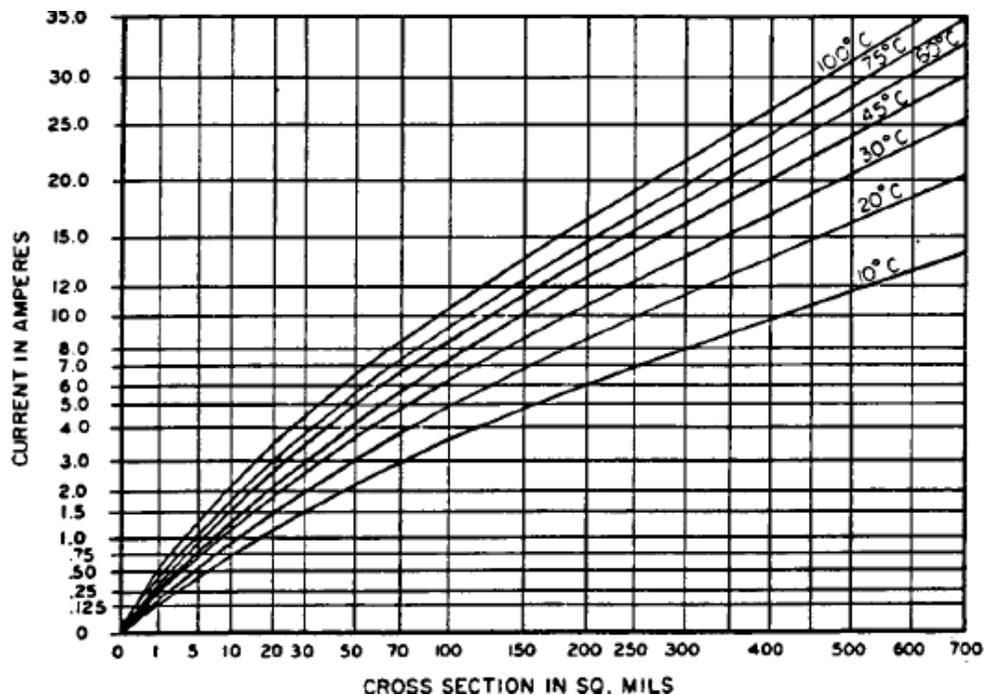


Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Quite Universal Circuit Simulator*.

En la elaboración de las tarjetas de circuito integrado en donde la corriente a circular es alta (más de un amperio), se debe considerar el área de la sección transversal de las pistas de cobre de la placa a través de la cual circulará esa elevada corriente.

Existen varios estándares para la elaboración de placas de circuito impreso pero uno de los más extendidos es el IPC2221A elaborado por la organización IPC (*Institute for Printed Circuits*). A continuación se muestra una figura según esta norma con el área requerida en la sección transversal de las pistas, según la corriente a conducir para diferentes temperaturas.

Figura 38. **Relación de corriente según el área de la sección transversal de las pistas**

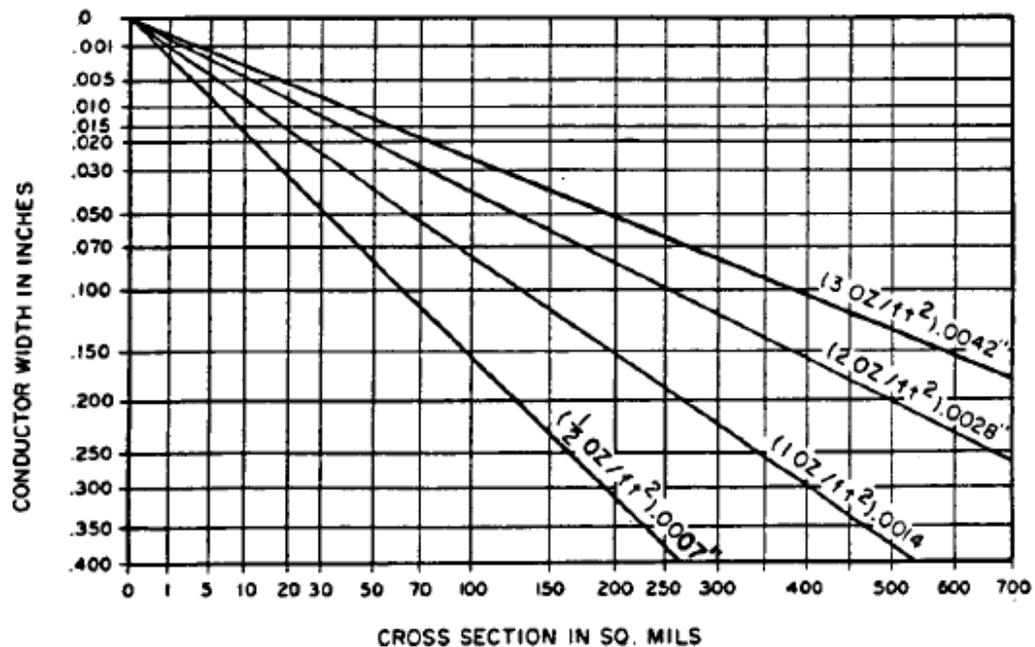


Fuente: IPC-2221A. <http://sisko.colorado.edu/CRIA/FILES/REFS/Electronics/IPC-2221A.pdf>.

Consulta: julio de 2015.

Debido a que cada resistencia calentadora consumirá aproximadamente 2,5 A de corriente alterna, es lógico diseñar con una mayor capacidad, de manera que 3 A es una cantidad adecuada para diseñar las pistas por las cuales circularan 2,5 A. En la gráfica anterior es adecuada la curva que representa una temperatura de 20 °C, ya que las placas estarán afuera en la caja de circuitería donde la temperatura será menor, así que observando dicha gráfica para 3 A se ve que la sección transversal debe tener un área de 50 milésimas de pulgada cuadradas; a continuación se muestra otra grafica con el ancho de las pistas, según el area de la sección transversal y el espesor de la capa de cobre de la placa.

Figura 39. **Relación de ancho de las pistas según el área de la sección transversal**



Fuente: IPC2221A. <http://sisko.colorado.edu/CRIA/FILES/REFS/Electronics/IPC-2221A.pdf>.

Consulta: junio de 2015.

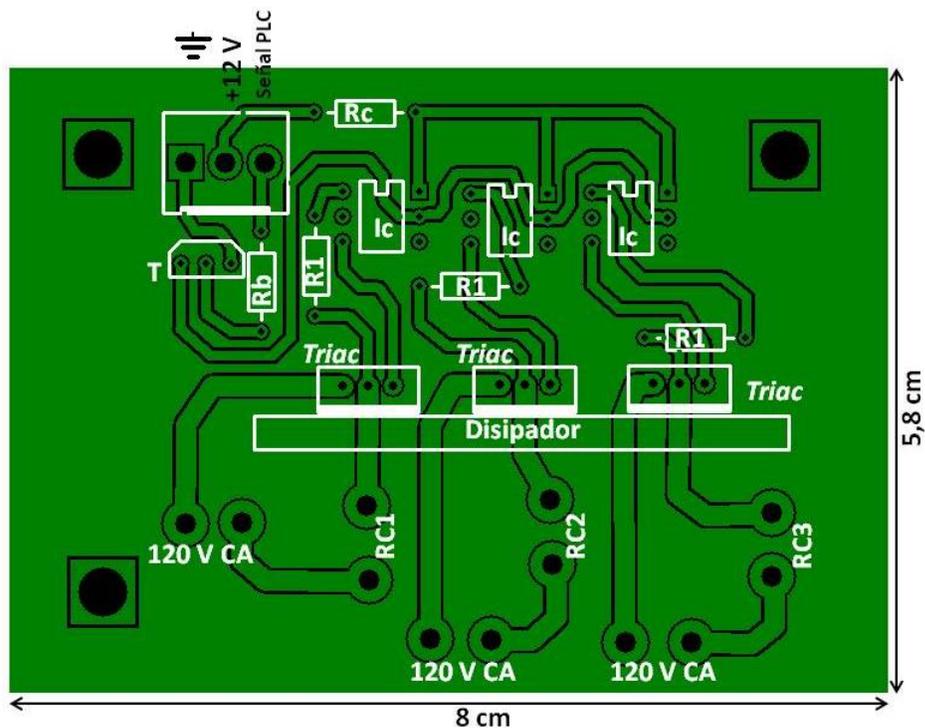
Las placas para realizar circuitos impresos que se venden en el mercado vienen en diferentes espesores de cobre; entre estos es común el espesor de 0,5 oz por pie cuadrado, de manera, que seleccionando la recta del espesor más común se observa que para un área de la sección transversal de 50 milésimas de pulgada cuadrada, el ancho de las pista debe ser de 0,08 in o 0,2032 cm; este ancho es necesario en las pistas que conduzcan una corriente de aproximadamente 3 A.

Es necesario señalar que cada resistencia calentadora debe tener su propia entrada de 120 V CA, ya que si de una sola conexión se distribuye hacia los tres *triacs* y resistencias, habría algún punto de la placa impresa en el que las corrientes de las resistencias se sumen, excediendo ampliamente la capacidad de conducción de las pistas y dañándolas.

A continuación se muestra el diseño de la placa de circuito impreso para las resistencias calentadoras; en ella los integrados Ic corresponden a optoacopladores MOC3010, la resistencia Rc es de 200 Ω y 0,25 W, la resistencia Rb es de 8,6 k Ω y 0,25 W, el transistor T es un 2N2222, las resistencias R1 son de 180 Ω y 1W, los tres *triacs* son BTA208800B y finalmente las conexiones nombradas como RC1, RC2 y RC3 corresponden a salidas para la conexión de las tres resistencias calefactoras.

No hay que olvidar que las pistas más anchas de la placa deben tener al menos 0,2032 cm de ancho; además hay que recordar la conveniencia de proveer a cada *triacs* con un disipador para mejorar su funcionamiento e incrementar su duración.

Figura 40. **Placa para las resistencias calefactoras**



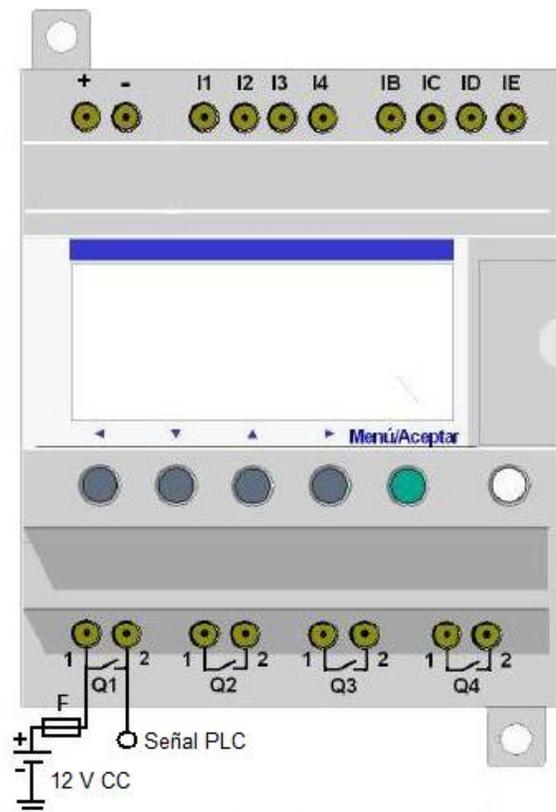
Fuente: elaboración propia, empleando el programa *ExpressPCB*.

El PLC tiene los contactos de salida numerados como “Q”, posee 4 salidas “Q”, las cuales al activarse funcionan como interruptores y conectan la terminal 1 con la terminal 2 de cada uno de los pares de salida “Q”.

En el caso del circuito anterior la terminal en la bornera señalada como “señal PLC” la cual proviene de la segunda terminal del par de contactos de salida Q1, el terminal 1 es alimentado con una fuente de 12 V CC; es aconsejable el uso de fusibles con las salidas del PLC para protegerlo en caso de algún fallo que pueda dañarlo; en este caso un fusible de 500 mA y 250 V es adecuado, ya que esta conexión se usará también para activar la electroválvula.

A continuación se muestra la conexión del PLC para activar la placa de las resistencias.

Figura 41. **Conexión del PLC para el circuito de las resistencias**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Paint*.

A continuación se muestra una tabla con el análisis económico de la elaboración de la placa de circuito impreso para la activación de las resistencias calentadoras.

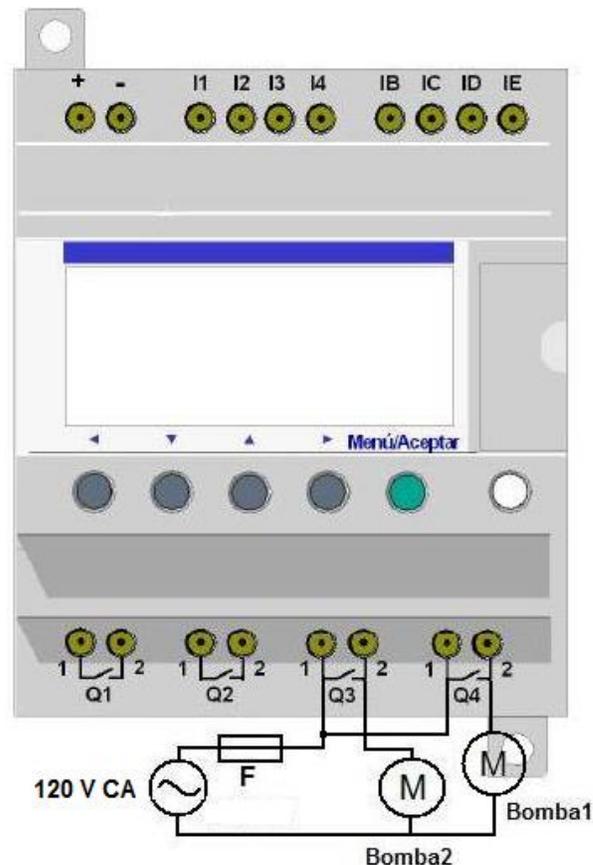
Tabla X. **Análisis económico de la placa de activación de resistencias**

Dispositivo	Precio
3 optoacopladores MOC3010	Q 27,60
2 resistencias de 0,25 W	Q 1,40
Una borneras de tres terminales	Q 3,00
Un transistor 2N2222	Q 1,50
3 resistencias de 180 Ω y 1 W	Q 4,50
3 <i>triacs</i> BTA208800B	Q 22,50
3 resistencias calentadoras de 120 V AC y 250 W	Q 1 950,00
Elaboración de la placa de circuito impreso	Q 28,00
TOTAL	Q 2 038,50

Fuente: elaboración propia.

Las dos bombas de agua que regulan la tasa de goteo funcionan con 120 V CA, en ellas el consumo de corriente es bastante bajo (aproximadamente 17 mA cada una según el fabricante) y serán activadas eventualmente; debido a esto pueden ser conectadas directamente a los contactos de salida del PLC Q3 y Q4 con la protección de un fusible de 250 mA y 250 V de manera similar al caso anterior. A continuación se muestra el esquema de dicha conexión.

Figura 42. **Conexión del PLC con las bombas de 120 V CA**

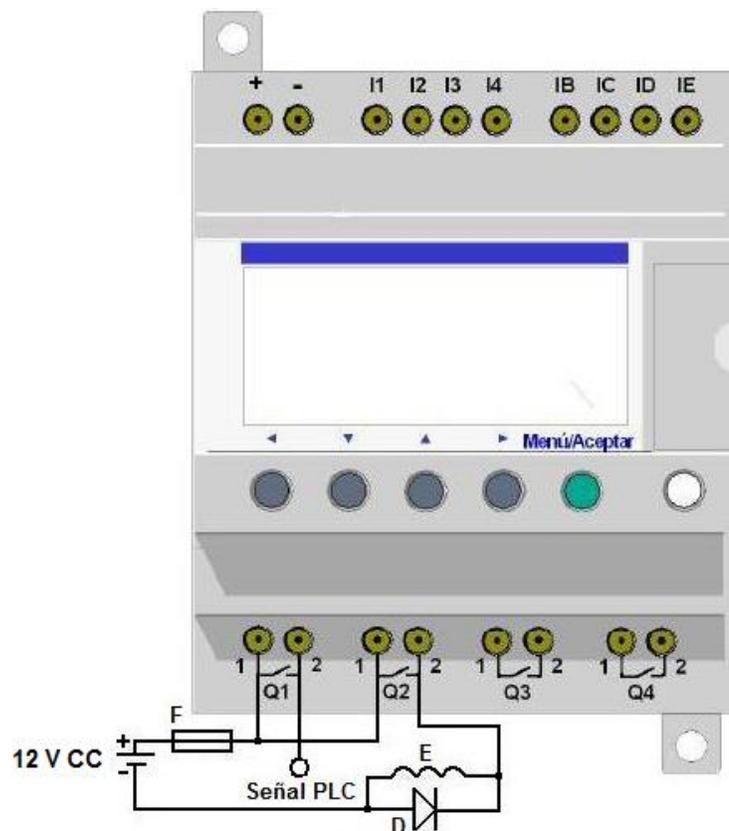


Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Paint*.

De igual manera que en el caso anterior, la electroválvula también puede ser conectada directamente al PLC, usando la conexión de salida Q2 para que este la active directamente; hay que recordar que la válvula al ser una bobina necesita un diodo 1N4001 conectado de manera inversa y en paralelo con la electroválvula; además ya que la válvula funciona con 12 V CC es posible usar la misma alimentación para la señal que activa las resistencias y la que activa la electroválvula E y usar un solo fusible, que debido al consumo de corriente de

la válvula (330 mA) debe de ser de 500 mA y 250 V. A continuación se muestra la conexión que activa la electroválvula y la placa de las resistencias.

Figura 43. **Conexión del PLC para activar la electroválvula**

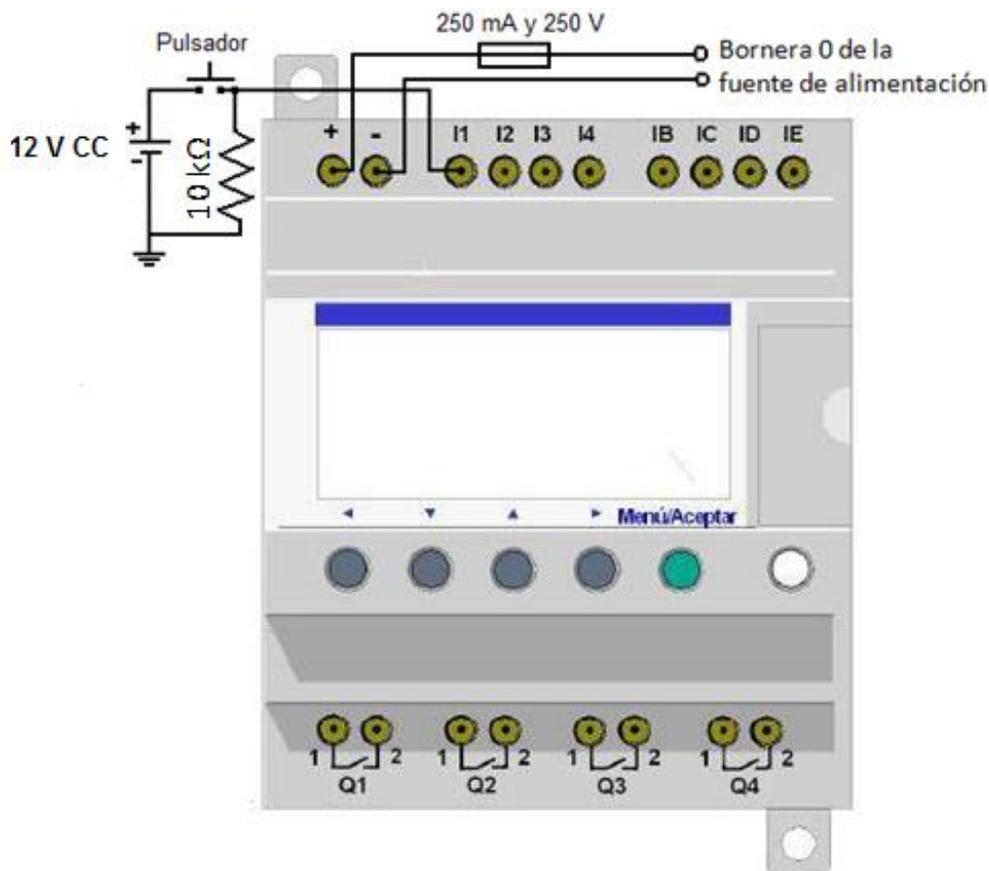


Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Paint*.

Además la entrada I1 del PLC debe tener conectado un pulsador el cual al ser pulsado proporcionará un uno digital a dicha entrada; este pulsador activará el periodo de incubación de la máquina, accionando también un contador de 72 horas que desplegará en la pantalla el tiempo de incubación transcurrido. En la siguiente figura se muestra la conexión del pulsador a la entrada digital I1 del

PLC; también se ilustra la conexión del PLC a la fuente de alimentación con un fusible de protección de 250 mA y 250 V en la línea positiva.

Figura 44. **Conexión de la entrada I1 y la alimentación del PLC**

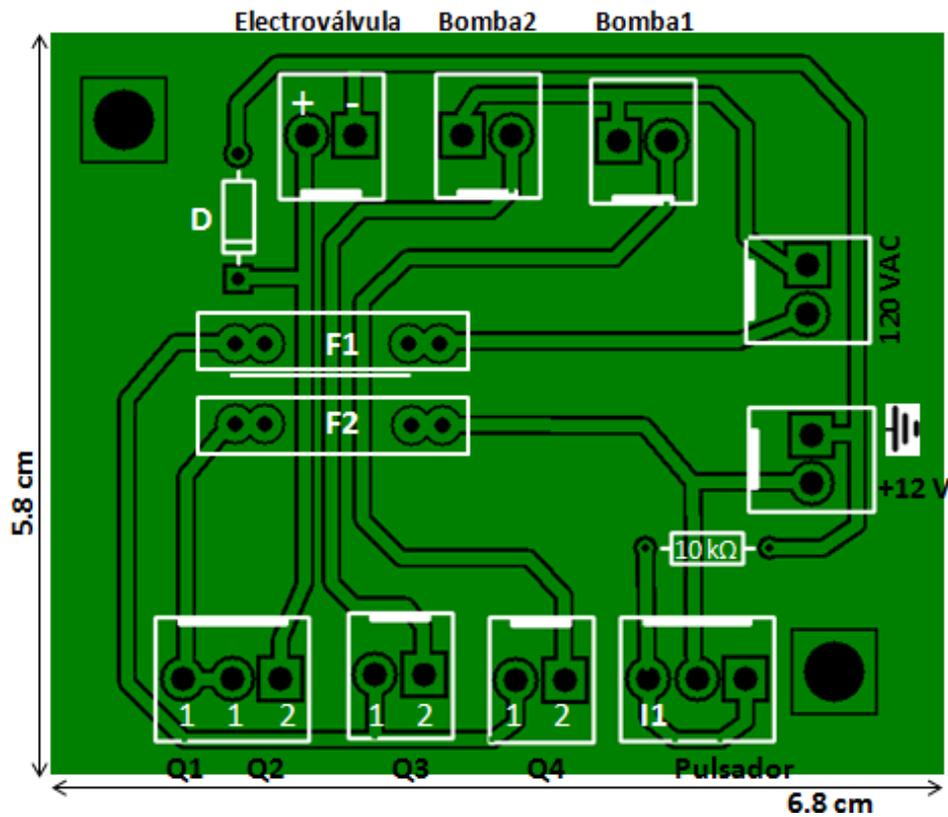


Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Paint*.

Para poder alimentar el pulsador de incubación, realizar las conexiones de los contactos de salida del PLC para alimentar las bombas y electroválvula; además del espacio para la colocación de los portafusibles para protección es necesario el diseño de una placa que contribuya a que todas estas conexiones con las salidas del PLC y con la entrada I1 sean más ordenadas y entendibles,

con el fin de evitar una excesivamente confusa red de cables saliendo y entrando al PLC. A continuación se muestra la placa que será conectada a las salidas Q y a la entrada I1 del PLC.

Figura 45. **Placa para las salidas del PLC**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *ExpressPCB*.

En la placa anterior el fusible F1 es de 250 mA y 250 V, mientras el F2 es de 500 mA y 250V y el diodo D equivale a un diodo 1N400; a continuación se muestra una tabla con la evaluación económica de la elaboración de la tarjeta de circuito impreso para las salidas del PLC para activar las bombas y la electroválvula; no se incluye en la tabla el costo de las bombas y de la

electroválvula, ya que el valor de estos dispositivos fue considerado cuando se hizo referencia al sistema de humidificación de la máquina en el anterior capítulo.

Tabla XI. **Análisis económico de la placa de salidas del PLC**

Dispositivo	Precio
2 portafusibles de placa	Q 4,00
Un pulsador	Q 5,00
Una resistencia de 10 k Ω	Q 0,70
Un fusible de 250 mA (F1)	Q 1,00
Un fusible de 500 mA (F2)	Q 1,00
9 borneras	Q 21,75
Elaboración de la placa de circuito impreso	Q 28,00
TOTAL	Q 61,45

Fuente: elaboración propia.

Es necesario recordar que la fuente que suministre energía a los diversos circuitos debe tener voltajes de alimentación de +12 V CC, y +5 V CC. El voltaje de 5 V CC alimentará el sensor de temperatura y el integrado 555, por lo que requiere proveer aproximadamente 16 mA; el voltaje de 12 V CC en cambio alimentará todos los demás circuitos incluyendo el PLC (120 mA) por lo que debe proporcionar aproximadamente 700 mA. Sin embargo es recomendable exceder un poco la potencia de la fuente por precaución, de manera que 1 A en cada una de los dos diferentes voltajes es suficiente para cubrir la demanda normal de corriente de todos los circuitos.

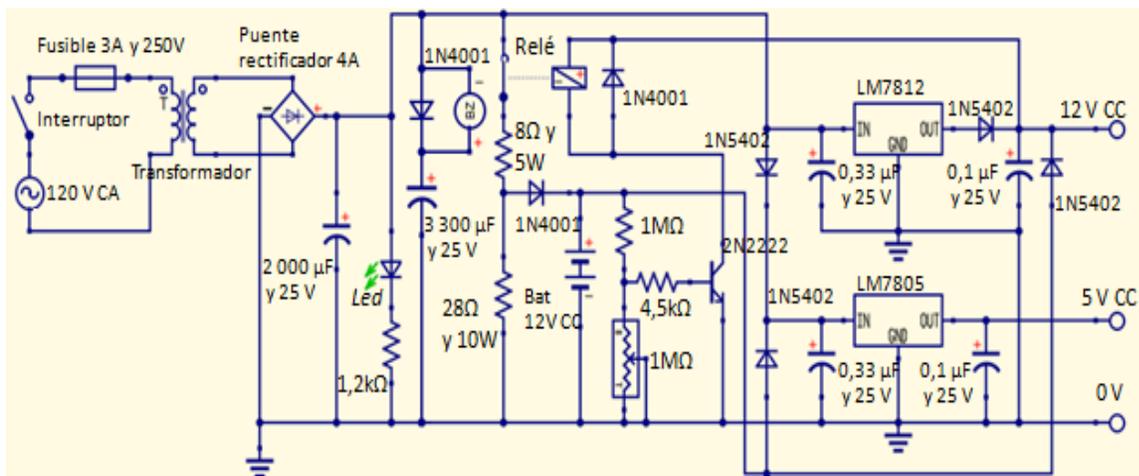
Se considera la posibilidad de que existan irregularidades en el suministro de energía que alimente la fuente de la máquina; estas irregularidades tendrán consecuencias negativas en el funcionamiento de la nacedora; estas consecuencias negativas de acuerdo con las condiciones ambientales de Guatemala pueden ser:

- Una interrupción de la alimentación producirá usualmente una temperatura menor de la adecuada, esto produce un retraso en el desarrollo del embrión, necesitando más tiempo para la eclosión; esto en el caso de que la variación de temperatura no sea ni muy grande ni demasiado prolongada, ya que si lo es provoca una gran tasa de mortalidad en los embriones.
- La mala ventilación en la nacedora por una interrupción en la alimentación produce pollitos débiles y blandos, los cuales encuentran grandes dificultades para salir de los cascarones.
- Una interrupción puede producir tanto una disminución como un aumento en la humedad relativa (dependiendo de la estación y la región); una disminución produce pollitos adheridos a la cáscara que suelen ser incapaces de romper el cascarón. Un aumento produce pollitos blandos y débiles muy propensos a morir después de nacer.

Tomando en cuenta las consecuencias que podría producir un inconveniente en la alimentación de la fuente, es muy aconsejable diseñar un circuito de alimentación que sea capaz de continuar suministrando energía a los circuitos de corriente continua especialmente al PLC en caso de ocurrir una falla temporal corta en la red de corriente alterna del lugar de operación de la máquina. Esta opción se vuelve indispensable si el lugar en el que

habitualmente funcionará la nacedora es un lugar con habituales apagones y otros defectos en la alimentación; a continuación se muestra un circuito para una fuente de alimentación que pueda satisfacer las necesidades antes descritas.

Figura 46. **Diagrama de la fuente de alimentación**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Quite Universal Circuit Simulator*.

En el diagrama anterior se muestra una fuente rectificadora de voltaje, la cual pasa a través de los contactos normalmente cerrados de un relé y por medio de un divisor de tensión carga una batería de 12 V CC; cuando la batería se carga totalmente el transistor es activado y abre las terminales del relé impidiendo que la batería se siga cargando. Cuando la carga de la batería desciende por debajo de cierto valor de voltaje el relé se desactiva y la batería vuelve a cargarse; la batería se conecta con la línea normal de alimentación de la fuente por medio de diodos que impiden que el voltaje de la fuente sea el que la cargue o en caso de un apagón que el voltaje de la misma llegue hacia la entrada del regulador de 12 V.

El capacitor de $3\ 300\ \mu\text{F}$ tiene la función de cargarse con el voltaje rectificado y filtrado del transformador y en caso de apagón se descarga con el zumbador, provocando un sonido momentáneo que indica la interrupción en el suministro eléctrico.

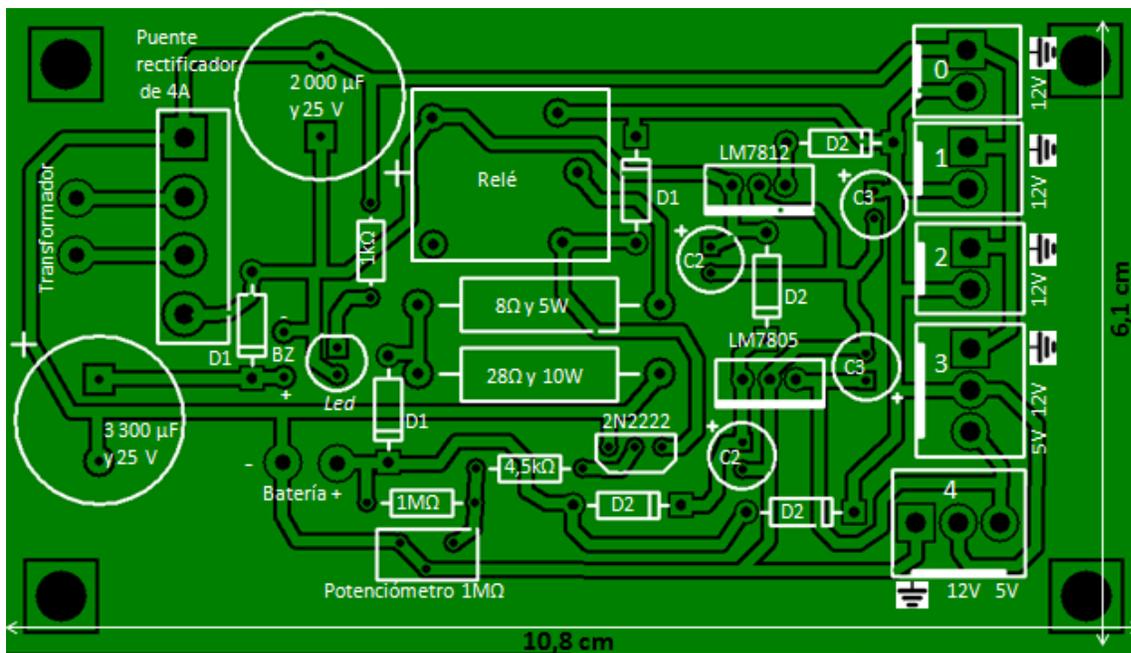
Tanto el diodo de la salida del regulador de voltaje LM7812 así como el diodo que conecta dicha línea con la batería disminuyen el voltaje de salida en $0,7\ \text{V}$; esto explica porqué cuando se analizó el circuito para el termistor se utilizó un voltaje de $11,3\ \text{V CC}$ en vez de uno de $12\ \text{V CC}$, esto debido a que este circuito requiere mayor precisión que los demás. La batería a utilizar en el anterior circuito es necesario que sea de plomo, ya que son de menor costo que otras, además de ser muy poco afectadas por el “efecto memoria”; esto considerando que en el diagrama anterior la batería nunca se descargara totalmente.

Considerando lo anterior se selecciona una batería Steren modelo BR-1204 de $12\ \text{V CC}$ y $4\ \text{A/h}$, la cual según sus especificaciones técnicas puede proveer una corriente de $2,4\ \text{A}$ por aproximadamente una hora.

Para la elaboración de la placa de circuito impreso para la fuente se toma también en cuenta que la corriente a circular en algunos puntos será alta, así que se debe tomar en cuenta esto para el ancho de las pistas, de manera similar a como fue considerado para la placa de las resistencias calentadoras. Para que circulen $3\ \text{A}$ es necesario un ancho de pistas de $0,2032\ \text{cm}$ y es el ancho mínimo recomendado; a continuación se muestra la placa de circuito impreso para la fuente de alimentación, en ella los diodos D1 corresponden a 1N4001, los diodos D2 a 1N5402, los capacitores C2 son capacitores de $0,33\ \mu\text{F}$ y $25\ \text{V}$, los C3 son de $0,1\ \mu\text{F}$ y $25\ \text{V}$ y el dispositivo BZ es el zumbador con su respectiva polaridad.

La bornera número 0 atraviesa un fusible de 250 mA y 250 V y alimenta al PLC; la número 1 alimenta la placa de las resistencias calefactoras, la número 2 la placa de los contactos de salida del PLC, la número 3 la placa de los sensores y finalmente la 4 es para la placa de los ventiladores.

Figura 47. **Placa de la fuente de alimentación**



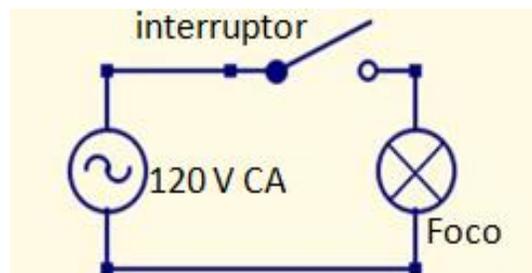
Fuente: elaboración propia, empleando el programa *ExpressPCB*.

Es necesario indicar que la fuente diseñada para respaldar la nacedora solo funciona con apagones breves en la energía eléctrica, ya que carece de un banco de baterías con circuito inversor que suministre 120 V CA a las bombas y a las resistencias calefactoras en caso de un apagón prolongado. Se considera que la inversión para un circuito inversor no es necesaria si el lugar donde funciona la máquina no es afectado usualmente por apagones prolongados de tiempo (mayores de 5 minutos); en caso de ser esa la situación se debe recurrir

a alternativas como un generador a gasolina o sistemas inversores industriales para solucionar dicho inconveniente.

En el primer capítulo se consideró adecuado y útil colocar una luz de 120 V CA en la parte superior interior de la máquina para facilitar la inspección de los huevos; en su momento se mencionó la necesidad de que dicha luz emitiera el menor calor posible para evitar la interferencia con los otros dispositivos que regulan la temperatura, de manera que un foco de *leds* es la opción adecuada. A continuación se muestra el muy simple diagrama para la luz de inspección, el interruptor puede también ser un pulsador, estas conexiones se realizan sin diseñar y una placa, únicamente soldando los cables al interruptor y a la plafonera:

Figura 48. **Circuito de la luz de inspección**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Quite Universal Circuit Simulator*.

Al igual que en el caso de las anteriores placas se muestra una tabla con el análisis económico de la elaboración de la placa del circuito impreso para la fuente; además se incluyen los componentes del circuito de la luz de inspección, dos borneras o clemas industriales que servirán para distribuir la alimentación alterna a las placas que así lo requieran y alambre para las conexiones.

Tabla XII. **Análisis económico de la placa de la fuente y luz de inspección**

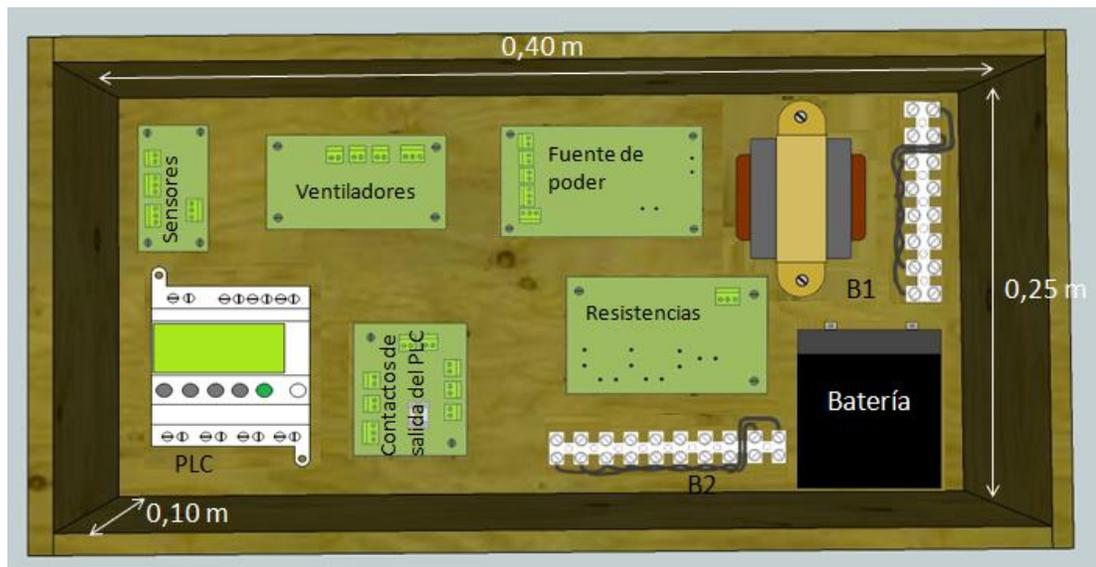
Dispositivo	Precio
Un transformador de 4 A y 12 V	Q 130,00
Un puente de diodos de 4 A	Q 9,50
2 fusibles (3 A y 250 mA)	Q 2,00
Un portafusible de cable	Q 1,00
Un zumbador o <i>buzzer</i>	Q 11,00
Un portafusible simple	Q 4,10
6 capacitores electrolíticos	Q 15,25
7 diodos rectificadores	Q 13,00
Un trimpot de 1 M Ω	Q 3,25
Un transistor 2N2222	Q 1,50
Un relé omron G5LC-1	Q 15,00
2 reguladores de voltaje	Q 10,00
2 clemas industriales de 15 A	Q 60,00
5 metros de alambre de 15 A	Q 25,50
15 metros de alambre de 3 A	Q 52,50
3 resistencias de 0,25 W	Q 2,10
Una resistencia de 5 W	Q 3,00
Una resistencia de 10 W	Q 5,50
2 interruptores de 10 A y 250 V	Q 15,00
5 borneras	Q 12,75
Un <i>led</i> y un foco de <i>leds</i>	Q 25,00
Una batería Steren BR-1204	Q 180,00
Elaboración de la placa de circuito impreso	Q 32,00
TOTAL	Q 628,95

Fuente: elaboración propia.

Como se mencionó en el anterior párrafo hay varias placas que necesitan 120 V CA debido a que dispositivos como las bombas de agua y las resistencias requieren ese voltaje para su funcionamiento; sin embargo es impensable que cada placa tuviera su espiga individual para conectar a la red de alimentación; de manera que es necesaria una forma de distribución para la corriente alterna proveniente de una sola toma hacia todas las placas que así lo requieran. Para realizar esta distribución se elige el dispositivo eléctrico llamado bornera industrial o clema para distribuir el voltaje de 120 V CA hacia distintas placas, hay que mencionar que debido al alto consumo principalmente de las resistencias calentadoras las clemas deben al menos soportar 15 A.

A continuación se muestra la distribución de todas las placas dentro de la caja para circuitería, así como las dimensiones apropiadas para la misma.

Figura 49. **Distribución de las placas dentro de la caja de circuitería**



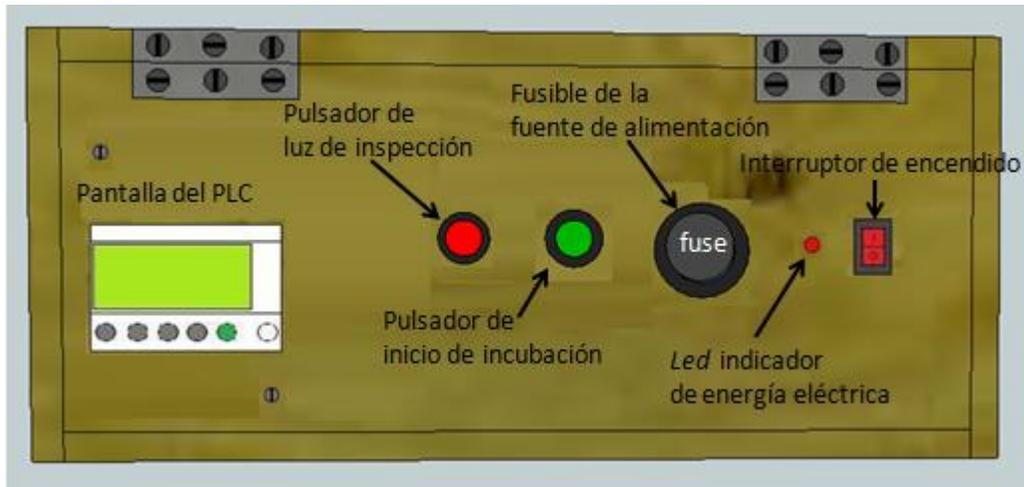
Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

En la anterior figura se observan las dos borneras industriales, una a la par del transformador en posición vertical denominada B1 y la otra en posición horizontal debajo de la placa de resistencias calentadoras denominada B2. La primera bornera tiene cuatro distribuciones de 120 V CA; la primera toma ubicada desde arriba hacia abajo es para la fuente, la segunda será la que se conecte a la espiga de alimentación, la tercera es para el interruptor de la luz de inspección y la cuarta alimentará la bornera B2.

La bornera B2 también tiene cinco tomas, la primera iniciando desde la derecha, es la entrada de voltaje proveniente de la bornera B1, las siguientes tres son para alimentar las entradas AC de la placa de las resistencias calentadoras y la quinta y final alimenta la placa de los contactos de salida del PLC para alimentar las bombas.

La anterior figura muestra la distribución de los circuitos y dispositivos dentro de la caja de circuitería; es evidente que la pantalla del PLC, los interruptores y el portafusible de la fuente, entre otros dispositivos no pueden estar dentro de la caja, ya que son dispositivos de frecuente manipulación; así que la tapa debe tener los agujeros y boquetes necesarios para la colocación de estos dispositivos. A continuación se muestra la vista exterior de la caja para circuitería cerrada, en ella el *led* indicador activado indica la existencia de energía en el suministro eléctrico que provee alimentación a la máquina.

Figura 50. **Vista de la caja para circuitería cerrada**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Google SketchUp*.

3.4. **Diseño de circuito para etapa selectora de parámetros según raza**

En el capítulo uno fueron descritas algunas características y peculiaridades sobre la gallina como especie y sus diferentes razas. Entre los datos interesantes está el hecho de que las gallinas o pollos necesitan el mismo tiempo de incubación y las mismas condiciones ambientales sin importar si es una u otra raza; debido a que la nacedora es diseñada únicamente para pollos y no para otra especie de ave de corral, el circuito para seleccionar los parámetros según la raza del pollo es evidentemente innecesario.

4. ETAPA DE CONTROL

En el presente trabajo se ha descrito la etapa de control como la encargada de procesar la información de los sensores mediante un conjunto de instrucciones que le permiten activar o desactivar los diferentes dispositivos que actúan para regular los parámetros en el interior de la nacedora. Este procesamiento de las señales mediante las instrucciones en la etapa de control se realiza a través de la programación del dispositivo de control, que en este caso es un PLC. Con el fin de facilitar la comprensión, a continuación se expondrán nociones básicas acerca de algoritmo, diagrama de flujo y será desarrollado el diagrama de flujo apropiado para el proceso, para desarrollar posteriormente la programación para el software del PLC.

4.1. Algoritmo

Un algoritmo puede ser definido como un método o una manera de resolver un problema; la popularización del término ha sido causada por el auge de la era informática. El término algoritmo proviene del matemático persa *Mohammed Al-Khowârizmî*, quien vivió durante el siglo IX y gozó de gran prestigio debido a que realizó un enunciado de las instrucciones paso a paso para sumar, restar, multiplicar y dividir números decimales.

La traducción a la lengua latina del apellido en la palabra *algorismus* derivó posteriormente en algoritmo (término actual). El matemático griego Euclides (siglo IV a. C.) es considerado junto con *al-Khowârizmî* como los padres de la algoritmia.

Debido a que un algoritmo es un método que resuelve un problema, al algoritmo le precede un problema que se debe resolver, el cual necesita el desarrollo de un algoritmo. Un algoritmo es una manera bastante general y normalmente transitoria de desarrollar una serie de instrucciones que resuelvan un problema; es una manera general ya que carece de un alto grado de detalle, además es transitoria porque usualmente el algoritmo es la guía para desarrollar ese particular conjunto de instrucciones en un específico lenguaje de programación. Con esto en mente se pueden enumerar tres pasos para la resolución de un problema en un determinado lenguaje de programación:

- Diseño del apropiado algoritmo el cual debe expresar sin ambigüedades una secuencia ordenada de instrucciones cuyo seguimiento lleva a la solución de un particular problema.
- Desarrollo con base en el algoritmo del programa en un particular lenguaje de programación; a este procedimiento se le llama codificación.
- Ejecución y validación del programa por la computadora o el dispositivo a programar.

Los algoritmos son independientes de cualquier lenguaje de programación, de manera que un particular algoritmo puede expresarse en diversos lenguajes de programación. En programación los algoritmos son más importantes incluso que los lenguajes de programación y computadora; ya que el lenguaje de programación es el medio para expresar el algoritmo y la computadora o dispositivo es el procesador para ejecutarlo.

Un algoritmo debe tener ciertas características para que pueda funcionar como tal y que así pueda ser expresado en un lenguaje de programación, entre estas características destacan:

- Precisión al indicar el orden de realización de cada paso o instrucción.
- Definición clara, lo cual quiere decir que si se ejecuta el algoritmo bajo las mismas condiciones más de una vez el resultado debe ser el mismo en cada ocasión.
- Finito número de pasos o instrucciones; el algoritmo debe de terminar en algún momento.

En el desarrollo de un algoritmo debe de existir tres partes:

- Entrada
- Proceso
- Salida

Para lograr obtener una solución eficaz mediante un algoritmo se necesita una apropiada y precisa descripción del problema así como una acertada descripción de las especificaciones de entrada y salida; en el análisis de un problema se requiere analizar qué datos son requeridos para resolver el problema y qué información debe proporcionar la resolución del problema.

4.1.1. Diagramas de flujo

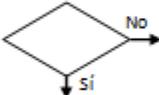
Existen diversos métodos para expresar un algoritmo; el diagrama de flujo es un método gráfico de representación de algoritmos; es la técnica más antigua pero a la vez la más utilizada. Un diagrama de flujo es un diagrama que usa una serie de símbolos geométricos estandarizados para representar las instrucciones del algoritmo, las instrucciones son escritas mediante los símbolos geométricos, los cuales están unidos por flechas llamadas líneas de flujo; dichas flechas indican la secuencia de ejecución de las instrucciones.

Los diagramas de flujo también son ampliamente utilizados en disciplinas diferentes a la programación como economía, procesos industriales, psicología cognitiva, entre otras.

Existen diferentes tipos o formas de elaborar un diagrama de flujo sin embargo la elaboración de manera vertical de arriba hacia abajo denominada “formato vertical” es la más extendida y será la utilizada en el presente trabajo.

El estándar de simbología más ampliamente utilizado para realizar diagramas de flujo es el normalizado por la ANSI (American National Standards Institute), algunos de los principales símbolos según la norma ANSI y los usados en las sucesivas páginas, son mostrados en la siguiente grafica con una breve descripción de su función.

Figura 51. **Símbolos más usados en la elaboración de diagramas de flujo**

Símbolo	Nombre	Descripción
	Terminal	Indica el inicio o fin del algoritmo.
	Entrada / Salida	Contiene una instrucción de lectura o escritura de datos.
	Proceso	Contiene una operación normal como cambio de valor, operación matemática, entre otras.
	Decisión	Contiene una condición, si se cumple el programa continua por la flecha "sí" y si no se cumple por la "no".
	Subprograma	Llamada a un modulo independiente definido en otra parte del programa.
	Conector o dirección	Muestra la dirección del flujo del algoritmo.
	Mostrar o pantalla	Indica que la información se despliega de alguna manera al usuario.
	Conector fuera de página	Indica la continuación de un diagrama de flujo en otra página.

Fuente: elaboración propia.

4.2. Diseño del algoritmo

Primero se debe identificar de manera clara cuál es el problema que el algoritmo debe de resolver. El programa es ejecutado e inicia leyendo las entradas analógicas del PLC (temperatura y humedad), el voltaje analógico es leído para después ser transformado en una cantidad digital para realizar las

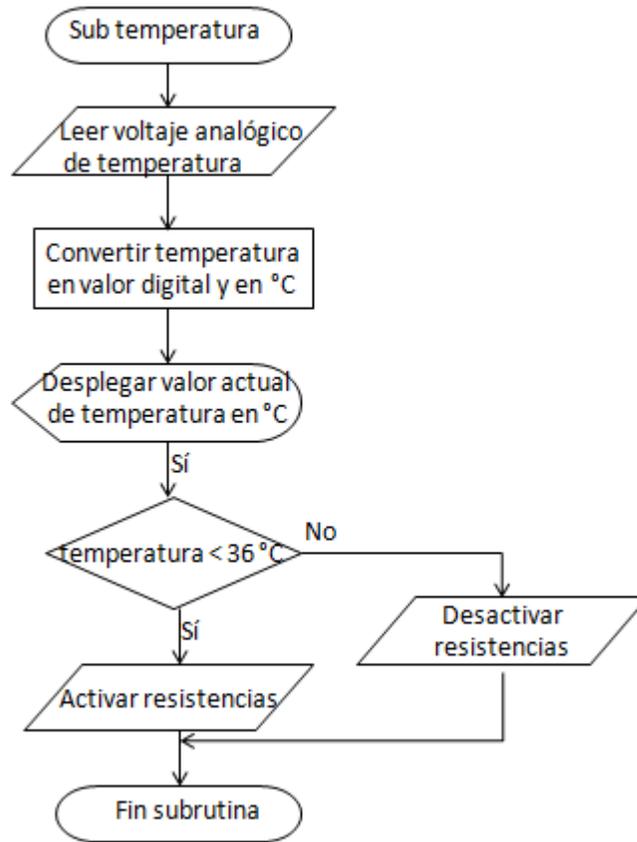
comparaciones; una vez que se han transformado las lecturas analógicas en una cantidad de temperatura y en un porcentaje de humedad se toman decisiones para iniciar la autorregulación de la máquina.

Si la temperatura es menor a 36 °C se activan las resistencias calentadoras para aumentar la temperatura, por el contrario si la temperatura es igual o mayor a 36 °C entonces son desactivadas las resistencias; en el caso de la humedad si esta es menor a 70 % entonces se activa la bomba 2 que introduce agua en un tanque, el cual regula mediante la presión la tasa de goteo; este aumento de agua incrementa la tasa de goteo y también la humedad; además al mismo tiempo se debe activar la electroválvula para permitir el flujo de goteo.

Si la lectura de la humedad se encuentra entre 70 % y 75 % se debe activar únicamente la electroválvula para permitir el flujo de goteo sin activación de las bombas y si la humedad está por encima de 75 % entonces se activa la bomba 1 que extrae agua del tanque regulador para introducirlo en un tanque auxiliar, reduciendo la presión y la tasa de goteo al mismo tiempo; se debe desactivar la electroválvula para evitar que el flujo de gotas continúe.

El funcionamiento de autorregulación antes descrito para la temperatura y para la humedad se debe realizar en distintas partes del programa. Para facilitar la comprensión y la realización del diagrama de flujo del funcionamiento de la nacedora es conveniente definir la autorregulación de la temperatura y la humedad como dos subrutinas denominadas “temperatura” y “humedad”; estas subrutinas serán llamadas en diferentes partes del diagrama de flujo principal. A continuación se muestra el diagrama de flujo para la subrutina que mide y autorregula la temperatura.

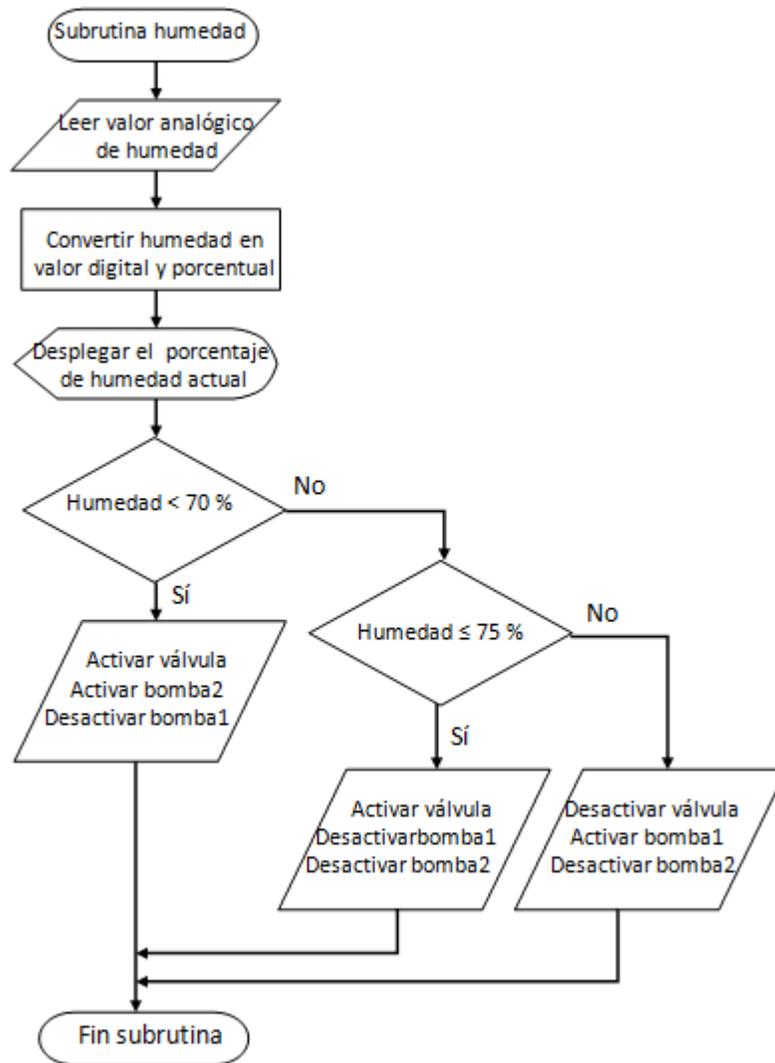
Figura 52. Diagrama de flujo para la subrutina de temperatura



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

La subrutina que mide y autorregula la humedad es muy similar al anterior con la diferencia que se deben de activar o desactivar tres salidas distintas (una en el caso de la temperatura). A continuación se muestra el diagrama de flujo que mide y autorregula la humedad.

Figura 53. Diagrama de flujo para la subrutina de humedad



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

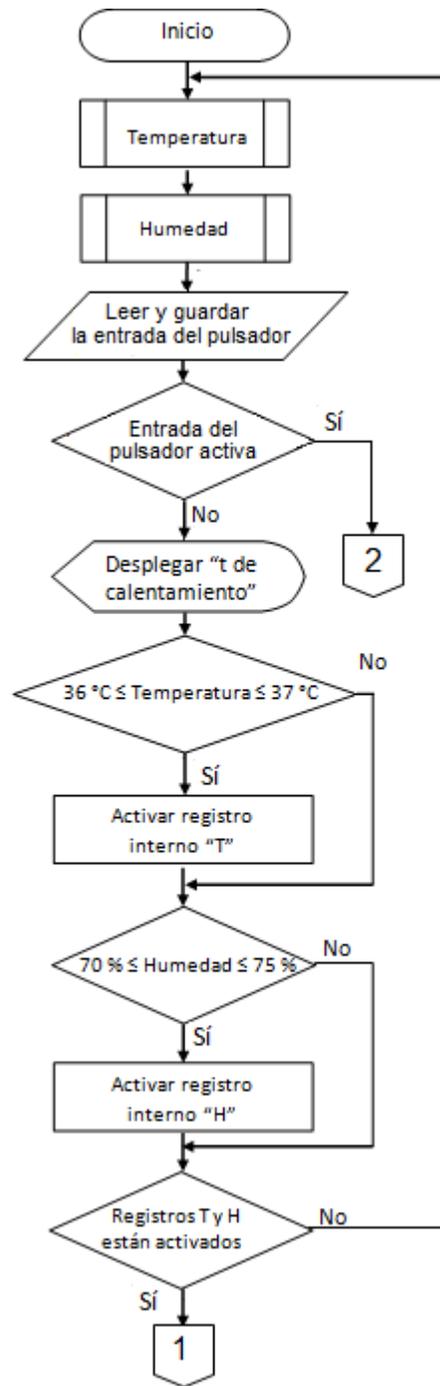
El funcionamiento descrito en los dos anteriores diagramas de flujo debe ser realizado por el PLC en tres periodos de tiempo diferentes: el primer periodo es la “etapa de calentamiento”, el cual debe durar hasta que la temperatura alcance una temperatura adecuada (entre 36 °C y 37 °C) y hasta que la humedad también alcance un porcentaje adecuado (entre 70 % y 75 %).

Puede ocurrir que la temperatura alcance un valor adecuado luego descienda y posteriormente la humedad alcance también un valor aceptable, así que se debe guardar en un registro interno la primera vez que la temperatura o humedad alcanzó el intervalo adecuado. Sin embargo durante este periodo también se debe controlar una entrada externa proveniente de un pulsador conectado a la entrada digital I1 del PLC, al momento de activarse dicha entrada el programa debe saltar inmediatamente y pasar a la etapa de incubación del programa.

Este periodo de tiempo puede variar dependiendo de si la humedad y/o temperatura del ambiente tienen un valor alto o bajo. Simultáneamente se debe desplegar en la pantalla de la pantalla LCD un mensaje indicando que la etapa en la que la máquina está funcionando es la “etapa de calentamiento”.

Durante esta etapa o periodo no se debe iniciar a introducir los huevos en la máquina, ya que las condiciones pueden no ser aún las más idóneas para los huevos provenientes de la incubadora. A continuación se muestra el diagrama de flujo para esta etapa, la flecha final en el diagrama de flujo indica que el programa pasa a la siguiente etapa, “la etapa de carga” que es descrita posteriormente.

Figura 54. Diagrama de flujo para la etapa de calentamiento

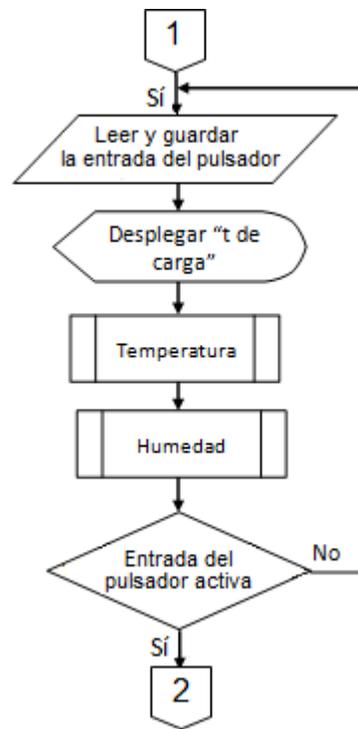


Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

Cuando tanto el registro interno de la temperatura como el de la humedad indican que se ha alcanzado el intervalo adecuado entonces inicia un periodo de tiempo llamado “etapa de carga”; este tiempo tiene una duración indefinida y es usado para cargar la máquina con huevos; cuando el operario acciona el pulsador conectado a la entrada digital I1 del PLC, entonces la nacedora ya cargada y lista pasa a la siguiente etapa.

Durante este tiempo es necesario que se continúe monitoreando y regulando la temperatura y la humedad; además, durante este tiempo se debe indicar en la LCD que la nacedora está trabajando en el “periodo de carga”. A continuación se muestra el diagrama de flujo para la etapa de carga.

Figura 55. **Diagrama de flujo para la etapa de carga**



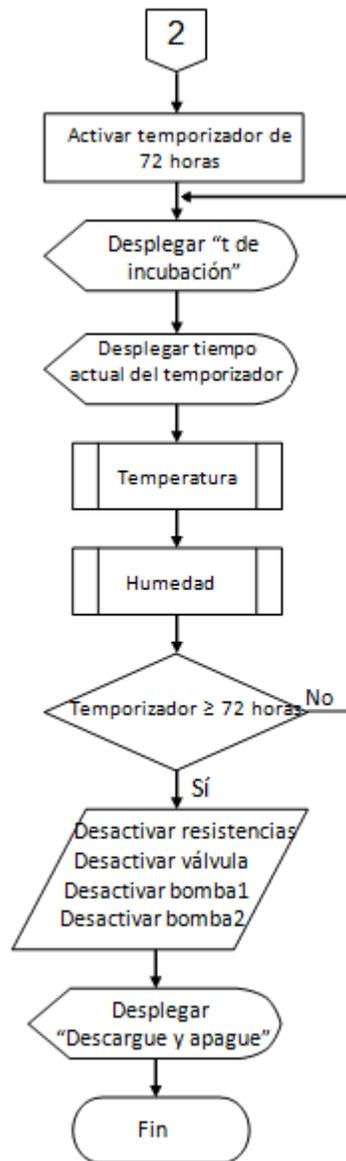
Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

En el momento en el que el pulsador es activado entonces el programa debe pasar a la “etapa de incubación”; para esto se activa un temporizador de 72 horas (3 días) durante el cual también debe continuar el monitoreo y la regulación de la temperatura y la humedad; durante este periodo también se debe indicar en la pantalla que la máquina está funcionando en el periodo de incubación.

Al cumplirse la totalidad del tiempo de incubación automáticamente se deben desactivar las resistencias calentadoras, las bombas y la electroválvula y la pantalla debe indicar que hay que descargar la nacedora con los polluelos y apagar la máquina; se estima que el tiempo gradual en que la máquina tardará en adquirir la temperatura y humedad ambiental es suficiente para permitir la descarga.

La etapa de incubación es la etapa más larga y es durante esta en la cual los embriones contenidos en los huevos concluirán su desarrollo para finalmente salir del cascarón; durante esta etapa es conveniente desplegar en la pantalla LCD la contabilización del tiempo que va transcurriendo; esto con el fin de tener mayor información, ya que esta es la etapa más importante de todo el proceso. A continuación se muestra la figura con el diagrama de flujo para la etapa de incubación.

Figura 56. Diagrama de flujo para la etapa de incubación



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

4.3. Verificación y depuración final

Como se mencionó antes para transformar los diagrama de flujo en un programa adecuado para el PLC se utiliza el software *Zelio Soft 2* versión 4.5; este software permite escoger el modelo de PLC de la línea *Zelio Logic* para diseñar y simular un programa deseado; el software ofrece la opción de elegir entre la programación en lenguaje *ladder* o en lenguaje FBD según la preferencia del usuario.

El diseño del programa se lleva a cabo en lenguaje FBD, el cual es sencillo, intuitivo y permite programar gráficamente basado en el uso de bloques predefinidos de funciones; estos bloques comprenden funciones de conteo, retraso, temporización, generación de pulsos, comparaciones analógicas, visualización LCD y funciones lógicas, entre muchas otras opciones.

Como es evidente la verificación primero debe incluir la codificación del algoritmo; este paso como previamente fue definido, consiste en la realización del algoritmo en un software determinado, el cual lo pueda ejecutar y almacenar en el dispositivo (PLC). Para una mejor comprensión se muestra a continuación una figura con algunos de los bloques de función del software *Zelio Soft 2* que son más útiles y necesarios para la codificación del algoritmo en cuestión; en la figura también se da una breve descripción de la función de cada bloque.

Figura 57. Bloques importantes en el lenguaje FBD #1

Bloque	Nombre	Descripción
	Entrada analógica	La tensión de entrada entre 0 y 10 VCC se convierte en un valor numérico entero mediante un convertidor analógico/digital de 8 bits. El valor entero de salida está comprendido entre 0 y 255.
	Salida DIG	Salida todo o nada la cual si esta activa conecta un relé interno del PLC.
	Constante "Marcha"	Es una constante que se utiliza para colocar cualquier entrada de una función en 1 o sea activa.
	Constante numérica	Es un entero cuyo valor esta comprendido entre -32768 y +32767, esta constante puede utilizarse para fijar valores en las entradas desconectadas varias funciones.
	Báscula RS	La salida se activa cuando la entrada set se activa y permanece aún cuando la entrada set cambie. La activación de la entrada reset desactiva la salida.
	Visualización en el LCD	Permite visualizar texto, una fecha, una hora o un valor numérico en la pantalla LCD del PLC.
	Ganancia = $A/B \times \text{valor} + C$	La función ganancia permite convertir valores analógicos por cambio de escala y offset, la formula es $Y = (A/B)X + C$.
	Comparación de 2 valores	La función comparación de 2 valores permite comparar dos valores analógicos.

Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

A continuación se muestra una segunda figura con otros bloques de función necesarios para la codificación; en esta segunda figura se encuentran bloques de temporización y algunos bloques para la realización de operaciones lógicas.

Figura 58. **Bloques útiles e importantes para el lenguaje FBD #2**

Bloque	Nombre	Descripción
	Comparación MIN =< valor =< MAX	La función comparación permite comparar un valor entre dos consignas (los valores MIN. y MAX. pertenecen a la zona).
	Temporizador A/C	La función Temporizador permite retardar, prolongar y activar acciones durante un tiempo determinado.
	Doble temporización	Genera impulsos en el flanco ascendente de la entrada; además es posible ajustar la duración del impulso y la duración entre cada impulso
	Contador horario con preselección	Esta función mide la duración de activación de la entrada. Cuando esta duración alcanza un valor de preselección, se activa la salida.
	No lógico	Si la entrada está inactiva o desconectada, la salida está activa y si la entrada está activa, la salida está inactiva.
	Y lógica	Si todas las entradas están activas o desconectadas, la salida está activa pero si al menos una entrada está inactiva, la salida está inactiva.
	O lógica	Si al menos una entrada está activa, la salida está activa pero si todas las entradas están inactivas o desconectadas, la salida está inactiva.

Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

Para realizar la subrutina de la temperatura se debe tener en cuenta el antes mencionado hecho de que el puerto analógico del PLC mide voltajes entre 0 V CC y 10 V CC con una resolución de 39 mV, lo que indica que hay 255 valores de voltaje a lo largo de la escala completa.

Previamente en el trabajo fue mostrada una tabla en la cual están tabulados los diferentes valores de resistencia del termistor para las diferentes

temperaturas dentro del rango más usual de funcionamiento de la máquina (tabla V); sin embargo lo que mide el PLC es voltaje y no resistencia, así que se diseñó un circuito por medio del cual los cambios de resistencia del termistor son transformados en cambios de voltaje; dicho circuito se muestra en la figura 30.

La ecuación que describe el voltaje de salida para el circuito antes mencionado es la ecuación (3.1), si dicha ecuación se resuelve con un voltaje de 11,3 V CC y un valor de R_T de 2 620,4336 Ω se obtiene:

$$V_{salida} = (11,3 \times 2\,620,4336) \div (R_{termistor} + 2\,620,4336)$$

Si se sustituye cada uno de los valores de resistencia de la tabla V en la ecuación anterior; se obtiene el voltaje en la salida del circuito del termistor; si además cada uno de esos voltajes se divide dentro de la resolución del convertidor ADC del PLC (39 mV), se obtiene el número digital al que equivale cada valor de voltaje después de la conversión del PLC; esto quiere decir que el PLC leerá un número cada vez que ocurra un cambio sensible para su resolución en el circuito del termistor. A continuación se muestra una tabla con los datos antes expuestos.

Tabla XIII. **Temperatura del termistor, voltaje analógico y número de conversión del PLC**

Temperatura (°C)	Voltaje (V)	Número
20	4,6500	119,2307
21	4,7737	122,4025
22	4,8975	125,5769
23	5,0213	128,7512

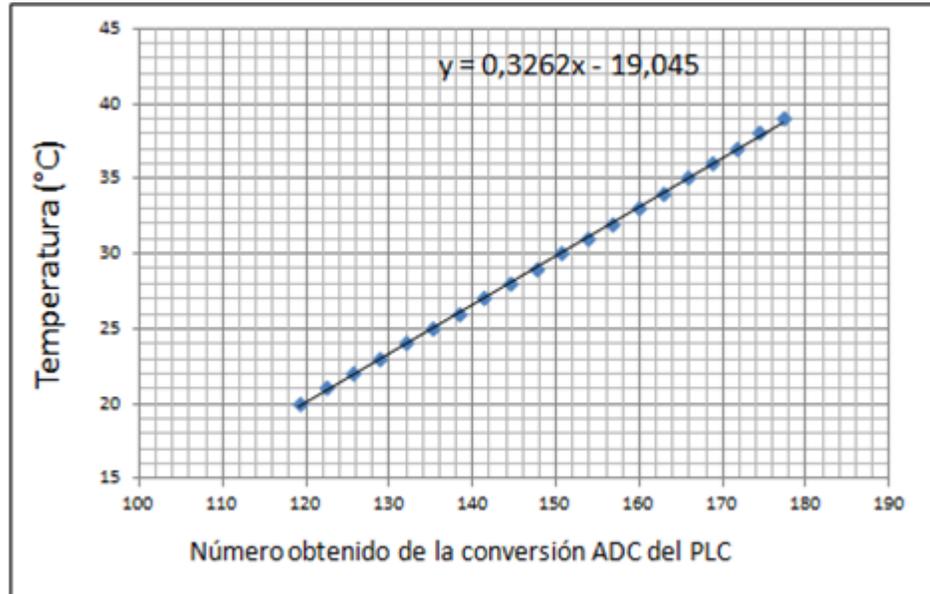
Continuación de la tabla XIII.

24	5,1450	131,9230
25	5,2684	135,0871
26	5,3915	138,2435
27	5,5141	141,3871
28	5,6361	144,5153
29	5,7580	147,6410
30	5,8779	150,7153
31	5,9975	153,7820
32	6,1161	156,8230
33	6,2339	159,8435
34	6,3502	162,8256
35	6,4655	165,7820
36	6,5780	168,6667
37	6,6911	171,5667
38	6,8020	174,4102
39	6,9113	177,2128

Fuente: elaboración propia.

Se realiza la gráfica de dispersión de la tabla anterior usando el eje “y” como el eje de la temperatura y el eje “x”, como el eje correspondiente al número de conversión; a partir de la grafica se obtiene un modelo lineal que describe el comportamiento de la temperatura en función del número proporcionado por la conversión análoga-digital del PLC. A continuación se muestra la grafica con el modelo lineal correspondiente.

Figura 59. **Gráfica del número de la conversión ADC del PLC de acuerdo con el valor de la temperatura**



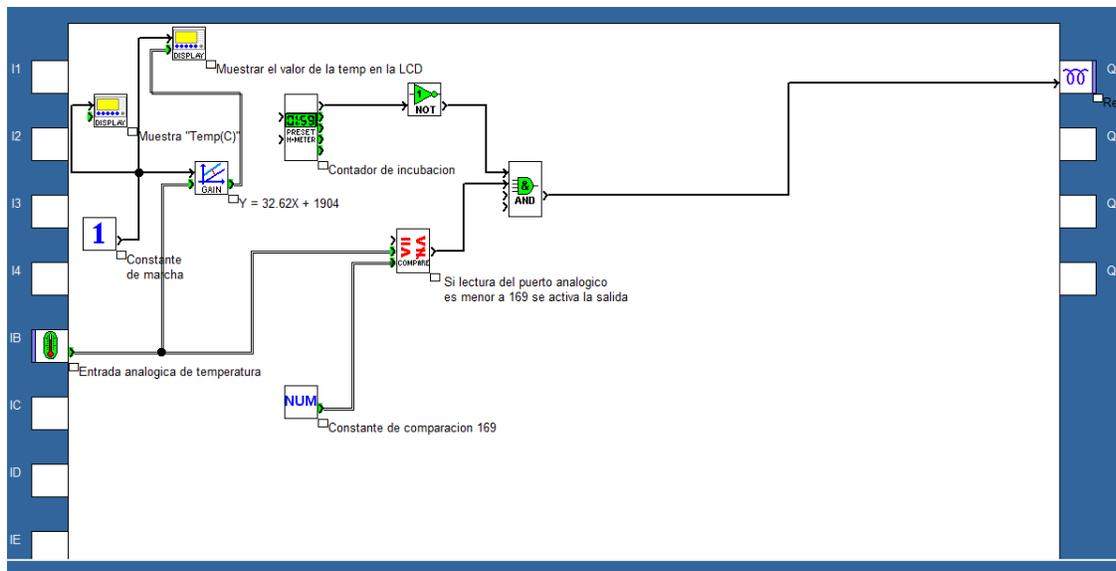
Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Excel*.

El modelo lineal obtenido de la gráfica anterior se multiplica por 100, ya que de esta manera será posible desplegar la lectura de la temperatura con 2 decimales en la pantalla LCD y se procede a codificar la subrutina de la temperatura. El bloque de entrada analógica transforma el voltaje en un número; luego este número se compara con el valor límite (169, ya que el programa solo admite números enteros), si el valor es menor entonces la temperatura es menor de 36 °C y hay que activar una salida que acciona las resistencias; en caso de que el valor de la conversión del ADC sea mayor o igual a 169 entonces la temperatura es mayor a 36 °C y no requiere la activación de las resistencias.

El número de la conversión ADC también se transforma con el bloque ganancia para que pueda ser desplegado en la LCD, como un valor de temperatura en grados Celsius.

Esta forma de operación debe realizarse siempre en el programa a excepción de que el tiempo de incubación haya llegado a 72, caso en el que ya no deben las resistencias. La activación de las resistencias se da mediante la alternancia entre el estado activo cuando baja de 36 °C e inactivo cuando iguala o supera ese mismo valor de temperatura; para esto la salida es conectada directamente al par de terminales de salida Q1 del PLC. A continuación se muestra la sección del programa en lenguaje BDF de *Zelio Soft 2* que equivale a la subrutina que mide y regula la temperatura que fue representada antes en forma de diagrama de flujo.

Figura 60. **Sección del programa que mide y regula la temperatura en lenguaje FBD**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

En el caso de la subrutina de la humedad es más sencillo, ya que el fabricante proporciona un modelo lineal que relaciona el voltaje de salida del dispositivo en función del porcentaje de humedad existente. Dicho modelo lo constituye la ecuación (2.1) si además se usa un voltaje de alimentación de 5 V CC para dicha ecuación se obtiene:

$$V_{(salida)} = 5 \times (0,0062 \times (\%HR) + 0,16)$$

$$V_{(salida)} = (0,031 \times (\%HR)) + 0,8$$

Sin embargo lo que se necesita relacionar es el porcentaje de humedad relativa con el número resultante de la conversión ADC del PLC; para esto se recuerda que el número ADC equivaldrá al voltaje de salida dividido entre la resolución (39 mV); esto se sustituye en la ecuación anterior y se despeja para el porcentaje de humedad relativa; además se resuelve para 70 % y 75 % de humedad antes de despejar para la humedad relativa.

$$Número_{(ADC)} \times 0,039 = (0,031 \times (\%HR)) + 0,8 \quad (4.1)$$

$$Número_{(ADC)} = ((0,031 \times (70\%)) + 0,8) \div (0,039) = 76,15$$

$$Número_{(ADC)} = ((0,031 \times (75\%)) + 0,8) \div (0,039) = 80,12$$

$$\%HR = (1,2580 \times Número_{(ADC)}) - 25,8064 \quad (4.2)$$

Con los valores de la conversión equivalentes a los valores límite de la humedad y el modelo lineal se diseña la sección en lenguaje BDF que equivale a la subrutina de temperatura. Al igual que en el caso de la temperatura es necesario multiplicar toda la ecuación (4.1) por 100 para poder así desplegar dos decimales en la pantalla LDC. El número resultante de la conversión del

PLC se compara usando dos bloques para activar una salida A si el numero es menor que 76 (menor a 70 % de humedad) o una salida B si es mayor a 80 (mayor a 75 % de humedad).

Para las salidas de los bloques de comparación A y B existen tres salidas (bomba 1, bomba 2 y electroválvula) que deben activarse dependiendo de los resultados de los bloques A y B de comparación; a continuación se muestra una pequeña tabla con los estados de las 3 salidas, dependiendo el resultado de los bloques de comparación A y B.

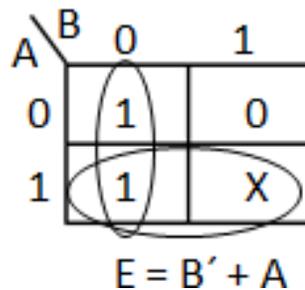
Tabla XIV. **Estados para la bomba 1, bomba 2 y electroválvula dependiendo de A y B**

A	B	B1	B2	E
0	0	0	0	1
0	1	0	1	0
1	1	X	X	X
1	0	1	0	1

Fuente: elaboración propia.

Resulta evidente que la salida para activar la bomba B1 solo requiere una conexión directa a la salida del comparador A mientras que para la bomba B2 la conexión es directa al comparador B. En el caso de la activación de la electroválvula se necesita realizar un pequeño mapa de *Karnaugh* de 2 variables que se muestra a continuación:

Figura 61. Mapa de *Karnaugh* para la electroválvula



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *PowerPoint*.

Con los bloques de funciones se puede realizar la función booleana para la activación de la electroválvula; en el caso de ambas bombas se debe activar un bloque de temporización doble que genere un tren de impulsos para activar y desactivar las bombas de manera periódica, mientras así se requiera; debe recordarse que las bombas elegidas tienen una capacidad máxima de flujo de 150 L/h, pero la bomba seleccionada permite disminuir dicha capacidad y es conveniente sea graduada hasta el mínimo para controlar con mayor precisión la cantidad de agua.

Se realizó un experimento con una bomba del modelo seleccionado inmersa en un tanque cilíndrico de 10,5 cm de diámetro y 16,8 cm de altura; el tanque contiene un volumen de aproximadamente 1,25 L de agua; la bomba activada por dos segundos drenó agua a través de una manguera de 45 cm de largo hacia otro tanque idéntico ubicado a la par del primero pero totalmente vacío; dicho experimento se repitió cinco veces midiendo cuidadosamente la cantidad de agua movilizada de un tanque al otro en cada repetición; el resultado promediado de dicho experimento fue de 45,70 mL y a continuación se muestra una tabla con los datos de tal experimento.

Tabla XV. **Experimento de movilización de volumen con bomba**

Número del experimento	Volumen movilizado
1	43,50 mL
2	49,50 mL
3	46,50 mL
4	42,00 mL
5	47,00 mL
Valor promedio	45,70 mL

Fuente: elaboración propia.

El experimento antes descrito permite concluir que la activación de cada bomba por dos segundos transporta un máximo volumen de agua de 45,7 mL; esta adición o extracción de agua en los tanques dará como resultado el aumento o reducción de la tasa de goteo, influyendo esto evidentemente en el nivel de humedad del interior de la nacedora.

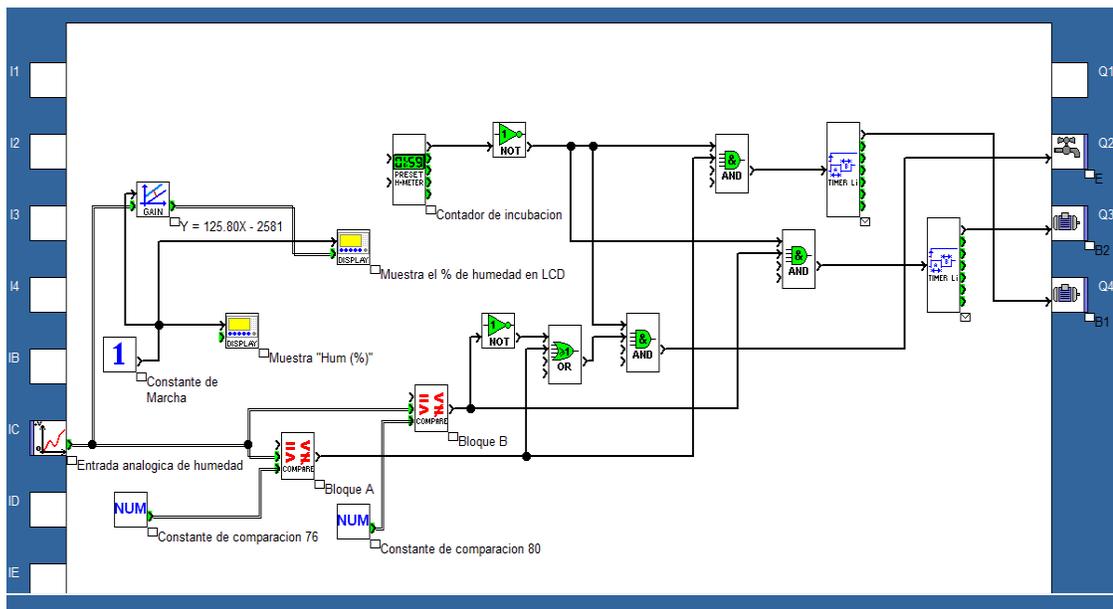
Considerando lo anterior se elige activar cada bomba con un tren de impulsos que tenga un tiempo alto de 2 segundos y un tiempo bajo de 20 segundos; el tiempo bajo permitirá que la nueva tasa de goteo se establezca antes de volver a verter agua si fuera necesario. En el caso de la electroválvula esta no debe ser activada mediante un tren de impulsos, sino mediante una activación de todo o nada similar a la activación de las resistencias.

Se debe considerar que las señales de salida deben todas de ser desactivadas sin importar las lecturas de los sensores cuando el tiempo de incubación (72 horas) haya concluido, debido a que la máquina tiene un buen aislamiento y pierde calor con lentitud entonces el periodo de tiempo que tarda la máquina sin autorregulación en adquirir los valores de temperatura y

humedad existentes en el ambiente permite la descarga de los polluelos ya nacidos.

Además al igual que en el caso de la temperatura, la lectura del puerto analógico debe de ser transformada en el valor porcentual de humedad, para así ser desplegado en la pantalla LCD; para esto se usa un bloque de ganancia y bloques de visualización en la LCD. A continuación se muestra la sección del programa en lenguaje FBD que equivale a la subrutina de la humedad.

Figura 62. **Sección del programa que mide y regula la humedad en lenguaje FBD**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

La siguiente sección en la elaboración del programa es la sección de “temporización”, la cual principalmente abarca los tres periodos de tiempo

(calentamiento, carga e incubación) su duración y los mensajes que se desplegarán durante cada uno de estos periodos.

Al iniciar se activa un temporizador A/C denominado “temporizador A” para desplegar el mensaje “t de calentamiento”; paralelamente se despliega la contabilización del tiempo (solo funciona durante el periodo de incubación) y se usan dos bloques de comparación MIN \leq valor \leq MAX para identificar cuando la temperatura y la humedad alcanzan un valor en el intervalo adecuado; estos rangos según la lectura de los puertos analógicos son entre 169 y 172 para la temperatura y entre 76 y 80 para la humedad. A continuación se usan dos bloques de báscula RS para guardar el momento en el que el parámetro alcanzó el intervalo por primera vez.

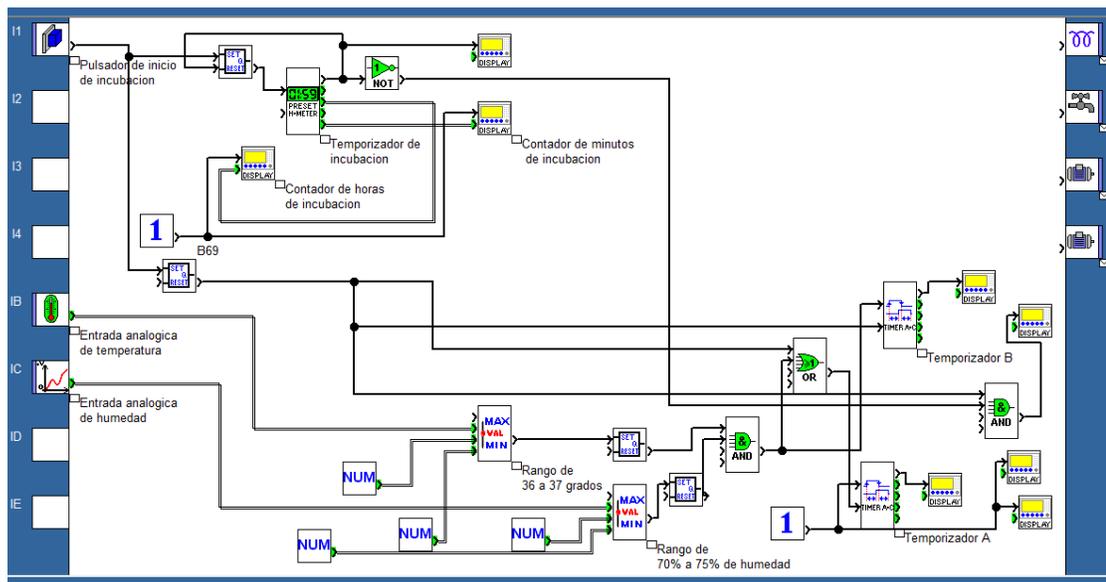
Cuando ambos parámetros alcanzan la zona con la ayuda de un bloque “Y lógica” se pone a cero el temporizador A para desactivar el mensaje “tiempo de calentamiento”; al mismo tiempo se activa otro temporizador tipo A/C denominado B, el cual despliega instantáneamente el mensaje “t de carga”.

Debe existir un pulsador en la entrada digital I1 del PLC, cuando dicho pulsador se activa este valor se graba con un bloque “báscula RS”; esta señal pone a cero los temporizadores A y B desactivando los mensajes del tiempo de carga y calentamiento; paralelamente esta señal activa el temporizador de 72 horas y despliega el mensaje “t de incubación” en la pantalla LCD. Esto indica que el pulsador activa el periodo de incubación.

Al alcanzar el tiempo establecido de 72 horas el temporizador de incubación desactiva el mensaje de “t de incubación” y activa el mensaje de “Descargue y apague”; esta señal del temporizador de incubación también es usada en las secciones que miden y regulan la temperatura y la humedad para

desactivar la salida de las resistencias calefactoras, la salida de ambas bombas y de la electroválvula. A continuación se muestra la sección de temporización programada en BDF de *Zelio Soft 2* equivalente a los tres tiempos (calentamiento, carga e incubación) representados previamente como diagramas de flujo.

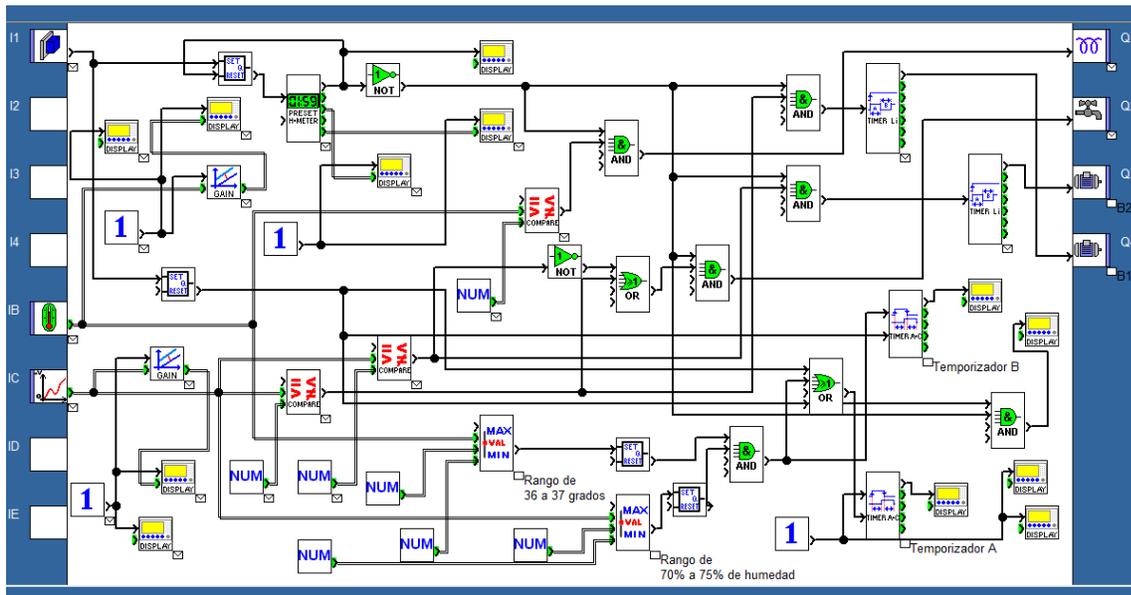
Figura 63. **Sección del programa para los tres tiempos del funcionamiento de la nacedora en lenguaje FBD**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

Uniendo las tres secciones de programación previamente descritas individualmente para facilitar la comprensión, se obtiene el programa completo mostrado a continuación para la autorregulación de la nacedora, mediante el uso del PLC SR2B121JD de la marca *Schneider Electric* programado y simulado en lenguaje BDF, con el software *Zelio Soft 2* versión 4.5.

Figura 64. Programa completo para el control de la nacedora en lenguaje FBD



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

4.4. Resultados

- La nacedora debido a su aislamiento para minimizar la pérdida de calor es capaz de regular y mantener la temperatura en el interior con temperaturas ambientales fluctuantes entre 8 °C y 37 °C; resulta evidente que entra más baja sea la temperatura ambiental más será el tiempo que tardará el mecanismo calentador en lograr una temperatura adecuada.
- La nacedora tiene la capacidad de regular y estabilizar la humedad relativa interna si la humedad ambiental se encuentra entre 30 % y 75

%. En caso de exceder el límite superior la máquina carece de un mecanismo que reduzca la humedad.

- El PLC seleccionado tiene un costo aproximado de Q 2 200; además se considera el costo económico del armario de la nacedora estimado en Q 4 370,80 (tabla II); el costo estimado del sistema de humidificación es de Q 287,00 (tabla VI) y el costo estimado de los dispositivos y circuitos electrónicos de Q 3 129,65 (tablas VIII, IX, X, XI y XII); de manera que el costo de implementación de la nacedora asciende a Q 9 987,45; si se toma en cuenta que modelos industriales de similar capacidad tienen precios a partir de Q 10 000,00 se considera una opción competitiva la implementación del diseño propuesto, sobre todo si se contara con material (PLC, dispositivos, armario, entre otros.) que pueda disminuir costos.
- La nacedora posee una fuente de alimentación con una batería de plomo de 12 V CC de respaldo que permite el funcionamiento de la máquina, aun con irregularidades en el fluido eléctrico que alimente la fuente; sin embargo es necesario considerar que dichas interrupciones no pueden ser largas (mayores a 5 minutos) ya que la nacedora carece de respaldo para los dispositivos de corriente alterna; este hecho debe ser tomado en cuenta ya que como antes fue dicho en caso de existir irregularidades largas y frecuentes, se debe instalar un sistema de respaldo de tipo industrial.

CONCLUSIONES

1. Es posible diseñar una máquina nacedora para pollos que pueda ser eficiente y competitiva a partir del uso de un PLC como elemento de control.
2. Un proceso automático consta de tres etapas que son necesarias para la autorregulación del evento, la etapa de censado, de control y la de actuación.
3. La etapa de censado consta de los sensores para medir la temperatura y la humedad en el interior de la nacedora; estos sensores deben ser elegidos principalmente por características técnicas como el intervalo y la exactitud, dichas especificaciones deben prevalecer en la elección del dispositivo al factor económico.
4. Para que los dispositivos actuadores puedan regular la humedad y temperatura adecuadamente, el armario debe de poseer una gran capacidad aislante para minimizar la pérdida de calor y humedad.
5. Para mejorar la distribución del calor en todos los puntos del interior de la nacedora es necesario utilizar varias resistencias calefactoras de menor capacidad, distribuidas en el interior del armario en vez de una sola de mayor capacidad.

6. En el diseño de placas de circuitos que requieran conducir altas corrientes como la placa diseñada para las resistencias calefactoras, debe ser considerada el área transversal de las pistas para que estas puedan conducir la elevada corriente, sin ser dañada la placa.
7. Las bombas que contribuyen a la regulación de la humedad en la máquina deben tener la menor capacidad de flujo volumétrico posible; esto es necesario ya que de esta forma la humedad cambiará en intervalos más pequeños, teniendo mayor precisión en la regulación.
8. El PLC seleccionado debe poseer pantalla LCD integrada, ya que esto permitirá desplegar los valores de la temperatura, humedad y tiempo transcurrido para un mejor control del operario.
9. Debido a los efectos desfavorables que la irregularidad en el fluido eléctrico puede tener en el correcto desempeño del proceso de nacimiento de los pollos, es necesario que la máquina posea una fuente de alimentación con batería de respaldo, esto con el fin de disminuir las consecuencias negativas sobre todo de los apagones eléctricos.

RECOMENDACIONES

1. La sustitución del PLC como elemento de control por un microcontrolador es conveniente si se pretende reducir costos; este cambio evidentemente conlleva la modificación de muchos circuitos aquí diseñados.
2. Añadir a la máquina la capacidad de incubar huevos de especies diferentes al pollo, aumentaría el interés por invertir en la investigación e implementación de la nacedora.
3. La utilización de un mayor número de sensores ubicados estratégicamente en el interior de la máquina y promediar la lectura resultaría en una mejor medición de la temperatura y humedad.
4. Aumentar la capacidad de la máquina equivaldría a mejorar su rentabilidad, al mismo tiempo que reduciría costos aumentando el atractivo de la implementación de la máquina.
5. La construcción del armario equivale casi al 40 % del costo total de fabricación, por lo que la adaptación de un refrigerador averiado como armario lograría una considerable disminución en el costo de implementación del trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALBUREZ CORONADO, Karla María. *Importancia y aportes de la industria avícola en la economía nacional*. Trabajo de graduación de Licenciatura en Administración de Empresas. Universidad Francisco Marroquín, Facultad de Ciencias Económicas, 1999. 71 p.
2. ASCENCIO RAMOS, Fátima Guadalupe; ELÍAS MEJÍA, Silvia Graciela. *Evaluación de las funciones básicas de una incubadora artesanal con una semi-industrial y la incubación natural*. Trabajo de graduación de Licenciatura Veterinaria y Zootecnia. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas, 2009. 73 p.
3. BARRIOS TÁNCHEZ, Moisés Elías. *Manual de avicultura: experiencias de Guatemala para iniciarse*. Guatemala: Print Studio. 2003. 282 p.
4. BERRY, Joe G. *Artificial Incubation* [en línea].
<<http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/get/Document-2104/ANSI-8100web.pdf>>. [Consultado: junio de 2014].
5. BOLTON, William. *Mecatrónica*. 5a ed. México: Alfaomega, 2013. 638 p.
6. BOYLESTAD, Robert; NASHELSKY, Louis. *Electrónica teoría de circuitos*. 4a ed. México: Prentice Hall. 1987. 845 p.

7. CENGEL, Yunus. *Transferencia de calor y masa*. 3a ed. México: McGraw Hill, 2007. 901 p.
8. *Guía de manejo de la incubadora. Manual elaborado por la empresa avícola Cobb-Vantress*. 2013. [en línea].
<http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/e420c01f-a164-4890-9963-60c1e332bf40_es.pdf>. [Consultado: abril de 2015].
9. JOYANES AGUILAR, Luis. *Fundamentos de programación*. 4a ed. México: McGraw Hill, 2008. 766 p.
10. SEARS, Francis; ZEMANSKY, Mark; YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger. *Física Universitaria volumen 1*. 11a ed. México: Pearson Educación. 2004. 791 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Manual de usuario**

- Antes de encender la maquina se debe revisar los tanques de agua que intervienen y regulan la humedad; se debe asegurar que estos contengan agua en los niveles adecuados previamente marcados.
- Se procede a oprimir el interruptor de encendido para activar la alimentación de la máquina; cuando este interruptor esté activado los ventiladores empezarán inmediatamente a funcionar.
- A continuación se corre el programa almacenado en el PLC; para esto se oprime el botón Menu/OK del PLC (botón verde); luego se accede con la ayuda de los botones de flechas a la opción RUN / STOP a continuación se elige la opción *With latching init* para iniciar el programa con todos los valores en cero.
- Al correr el programa se desplegará en la pantalla del PLC una serie de mensajes muy similares a la siguiente figura obtenida con la simulación del programa en el software zelio soft 2. El mensaje en la primera fila indica que la máquina está funcionando en el periodo de calentamiento y que está regulando la temperatura y la humedad, para que alcancen valores convenientes.

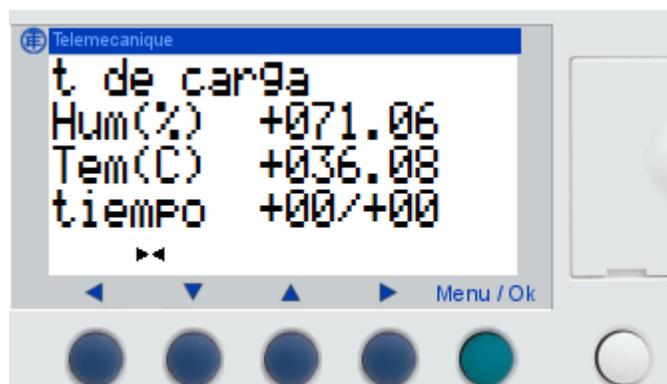
Apéndice 1a. **Simulación del tiempo de calentamiento**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

- Cuando la nacedora logre regular la temperatura y la humedad para que estos parámetros alcancen valores aceptables, entonces la máquina cambiará el mensaje mostrado en la primera línea de la LCD para indicar que la nacedora avanza a la etapa de carga, durante esta etapa se desplegarán mensajes en la pantalla similares a la siguiente figura.

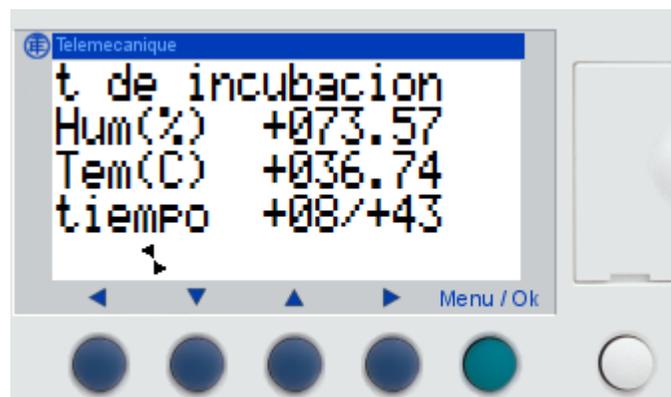
Apéndice 1b. **Simulación del tiempo de carga**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

- Durante el periodo de carga se colocan los huevos en las bandejas y se introducen en la nacedora luego de lo cual se acciona el pulsador de inicio de incubación. Al activar dicho pulsador el mensaje de la primera línea cambia nuevamente y la contabilización del tiempo (72 horas) de la parte inferior inicia, los primeros dos dígitos previos a la diagonal marcan las horas y los que se encuentran después de la diagonal marcan los minutos; la pantalla del PLC se mostrara similar a la siguiente figura.

Apéndice 1c. **Simulación del tiempo de incubación**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

- Durante las etapas descritas hasta aquí, la humedad y la temperatura permanecían siendo medidas y con base en estas mediciones eran reguladas. Al concluir las 72 horas del periodo de incubación la máquina desplegará un mensaje en la LCD, indicando que se debe descargar y apagar la nacedora; en esta etapa se continúa la medición de la humedad y temperatura pero se desactivan todos los dispositivos de regulación; la pantalla del PLC se mostrará similar a la siguiente figura.

Apéndice 1d. Simulación del tiempo de descarga



Fuente: elaboración propia, empleando el programa *Zelio Soft 2*.

- A continuación se extraen las bandejas con pollitos de la nacedora se detiene el programa del PLC accediendo con el botón Menú/OK y los botones de flechas a la opción RUN / STOP; luego se selecciona STOP PROG y luego YES. Después de detener el programa del PLC se procede a apagar el interruptor de encendido.
- Si se desea iniciar inmediatamente la incubación de otra tanda de huevos se omite el paso final de apagar el interruptor de encendido; en vez de eso se repiten las instrucciones de los números 1, 2, 3 y 4. Luego de correr nuevamente el programa del PLC debido a que la máquina acaba de funcionar y tiene la temperatura y humedad de su interior muy cerca de los valores convenientes, se procede inmediatamente a cargar con los huevos la nacedora aún cuando la pantalla del PLC indique periodo de calentamiento; después de esto se acciona el pulsador de inicio de incubación y de aquí en adelante el funcionamiento es igual al que antes fue descrito.

- Luz de inspección: esta se activa con el pulsador de luz de inspección (mientras se oprima el pulsador); esta iluminación es producida por un foco de *leds* de baja intensidad. Esta luz es útil en caso de existir la necesidad de inspección de la máquina ya sea porque se cree que algún pollito nació prematuramente o cualquier otra razón.
- *Led* indicador de energía eléctrica: la emisión de luz por parte del *led* indica que existe energía alterna suministrando alimentación eléctrica a la máquina. En caso de que el *led* se apague, esto indica una interrupción en la energía alterna, cuando ocurre una interrupción en la alimentación alterna, el zumbador emitirá un sonido de alerta por un breve periodo de tiempo, indicando el inicio de la anomalía.

Apéndice 2. Resolución de fallas

A continuación se muestra una tabla con algunas de las fallas más sencillas y comunes que se pueden presentar en la nacedora; la tabla también muestra la solución a dichas fallas. En el caso de que la falla sea diferente a las mostradas en la tabla o en caso de que la solución dada no resuelva el desperfecto, se debe acudir a alguien con conocimientos de electrónica que revise los circuitos; es útil para el técnico proporcionarle los circuitos del capítulo 3 para facilitarle el trabajo.

Apéndice 2a. Fallas y soluciones #1

Falla	Solución
La nacedora no enciende	Asegurarse que la espiga con el cable funcionan correctamente, para esto mover la espiga y el cable para ver si con algún movimiento la máquina responde brevemente; si este es el caso reemplazar la espiga y el cable.
La nacedora no enciende	Revisar y comprobar que el fusible de 3 A y 250 V que se encuentra en el portafusible exterior está en buen estado, en caso de no estarlo reemplazarlo.
No funciona algún dispositivo como los sensores, los ventiladores o el PLC	Asegurarse que todos los cables de las borneras están fuertemente sujetos y que no haya cables desconectados.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2a. **Fallas y soluciones #2**

Falla	Solución
No enciende el PLC	Revisar el fusible (250 mA y 250 V) que se encuentra en el interior de la caja de circuitería y que conecta la alimentación positiva de la fuente con la entrada de alimentación del PLC y confirmar su buen estado.
La nacedora no lee la temperatura y/o la humedad	Confirmar la firme sujeción de los cables que conectan la placa de sensores con las entradas analógicas del PLC.
Las bombas de agua nunca se activan	Revise el fusible de 250 mA y 250 V que se encuentra en la placa de salidas del PLC y confirmar su buen estado.
No se activa ni la electroválvula ni las resistencias calentadoras	Revisar y comprobar que el fusible de 500 mA y 250 V que se encuentra en la placa de salidas del PLC se encuentra en buen estado, en caso de no estarlo, reemplazarlo.
Al desconectar la nacedora o existir una interrupción en la alimentación la máquina se apaga	Revisar y confirmar el buen estado de la batería de 12 V empleada en la fuente de alimentación.
Las bombas se activan pero la humedad no es regulada	Confirmar que los tanques del sistema humidificador tiene la cantidad de agua adecuada.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Condiciones para la instalación de la nacedora**

- Es recomendable que la instalación de la máquina nacedora no se realice en una casa domiciliar, ya que al momento del nacimiento, el plumón de los polluelos puede contaminar el domicilio; por otro lado una vivienda domiciliar es una gran fuente de contaminación para los huevos y polluelos. El lugar más indicado para la instalación es una galera o bodega exclusiva para la instalación de la nacedora y debe estar alejada al menos 20 m de la vivienda más cercana. Esta galera debe tener una buena ventilación, pero con una reducida penetración de agentes contaminantes como polvo esporas de hongo, entre otros.
- La habitación que ha de albergar la nacedora es preferible que sea fabricada de hormigón o block, ya que es un material higiénico que puede ser desinfectado regularmente. Además del hormigón también funciona la madera y la lámina para la construcción de la habitación. Es indispensable que la máquina se encuentre aislada de fuentes de contaminación como excremento de animales domésticos o de corral, plumaje de aves de corral u otro tipo de potenciales agentes contaminantes.
- Las máquinas como la nacedora o incubadora toman el aire de la habitación en que se encuentren instaladas; esto indica que el lugar de instalación de este tipo de máquinas debe ser un lugar con un buen flujo de aire; es recomendable que la ventilación de dicha habitación sea realizada por sistemas de ventilación industrial apropiados que reduzcan la posible contaminación introducida por una ventilación de tipo natural. Considerando lo anterior, la habitación de la nacedora no puede ser un cuarto pequeño donde apenas quepa la máquina, sino un lugar cuya

amplitud permita el adecuado flujo de aire, si la ventilación es de tipo natural. La entrada de aire adecuada en la habitación puede estar entre 10 y 13 CMF.

- La habitación debe tener una ventanilla a la altura del codo de ventilación ubicado en la parte superior de la nacedora, para que el aire desechado por la máquina pueda ser apropiadamente descartado y evitar así una posible reintroducción de aire viciado en la nacedora; el lugar de instalación no debe ser afectado usualmente con apagones muy prolongados, ya que esto afectará negativamente el desempeño de la máquina.
- La excesiva altitud genera problemas en la efectividad del proceso de incubación; por ejemplo la ventilación con aire fresco a una altitud mayor es más fría y seca que una ventilación a menor altitud; una mayor altitud reduce la cantidad de oxígeno en el aire y además genera una mayor pérdida de humedad de los huevos. Estos hechos entre otros, demuestran la no recomendable instalación de la nacedora a altitudes mayores a 762 m sobre el nivel del mar.

