



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: Diseño e implementación de una incubadora automática de  
huevos para la Unidad Productiva Agropecuaria Majavi.**

**AUTOR: TUMIPAMBA GUANOPATIN DARWIN RICARDO**

**DIRECTOR: Ing. TIPÁN CONDOLO, EDGAR FERNANDO**

**SANGOLQUÍ, AGOSTO 2017**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo titulado "Diseño e implementación de una incubadora automática de huevos para la Unidad Productiva Agropecuaria Majavi" realizado por el Sr. Darwin Ricardo Tumipamba Guanopatin con C.I. 172301873-3, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el reglamento de estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

El mencionado trabajo consta de un documento anillado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autoriza Darwin Ricardo Tumipamba Guanopatin que lo entreguen al ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de Carrera.

Sangolquí, 3 de Agosto del 2017

Ing. Edgar Tipán  
Director



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD**

Yo, DARWIN RICARDO TUMIPAMBA GUANOPATIN, con cédula de identidad C.I. 172301873-3, declaro que este trabajo de titulación "Diseño e implementación de una incubadora automática de huevos para la Unidad Productiva Agropecuaria Majavi" realizado por el Sr., ha sido desarrollado con base de conocimientos teóricos y prácticos, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que consta en el presente documento, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Por consiguiente este trabajo es de mi propia autoría.

Sangolquí, 3 de Agosto del 2017

Darwin Ricardo Tumipamba Guanopatin



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y  
CONTROL

### AUTORIZACIÓN

Yo, Darwin Ricardo Tumipamba Guanopatin

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado “Diseño e implementación de una incubadora automática de huevos para la Unidad Productiva Agropecuaria Majavi” cuyo contenido, ideas y criterios es de mi responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 3 de Agosto del 2017

Darwin Ricardo Tumipamba Guanopatin

## DEDICATORIA

Por ser el pilar en mi vida, le dedico este trabajo y toda mi carrera universitaria al ser que me dio la vida y que ha sido un gran ejemplo a seguir en todas las etapas de mi vida, querida madre **Consuelo Del Pilar**, por su apoyo incondicional, esfuerzo a la distancia y buenos consejos que me han llenado día a día durante toda mi formación profesional, se cumple un sueño más que gracias a ti y a la bendición de Dios lo he logrado. También dedico este logro a mi padre, hermano, tíos y a cada persona que puso su granito de arena para hoy poder cumplir tan anhelado logro personal.

**Darwin**

## **AGRADECIMIENTO**

La culminación de esta nueva etapa de mi vida agradezco principalmente a Dios que me ha dado la vida y las fuerzas para seguir adelante en cada instante de mi vida, las fuerzas para no darme por vencido frente a la adversidad y distintos problemas que he tenido. Además de agradecer a mi madre que ha sido el pilar fundamental en todos los años de formación profesional, la que siempre ha confiado en mí, la que nunca me abandono en mis peores momentos, la persona que con mucho ahínco y esfuerzo siempre me ha sabido ayudar de una u otra manera, me faltarían palabras para describirte y agradecerte por todo querida madre.

Agradezco infinitamente a mis tíos Vilmar, Rocio, Armando, Teresa, Elisa y en si a toda mi familia que me brindaron su apoyo incondicional no solo económico sino también moral, brindándome consejos para poder crecer como persona cada día y lograr culminar con éxito esta etapa universitaria.

Por último agradezco a mi director Ing. Edgar Tipán, quien supo guiarme y contribuir de manera profesional para el desarrollo del presente trabajo.

**Darwin**

## ÍNDICE

### Contenido

CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD .....	iii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA .....	v
AGRADECIMIENTO .....	vi
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xx
RESUMEN.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiv
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes .....	1
1.2 Justificación e importancia .....	4
1.3 Objetivos .....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivo específicos.....	6
1.4 Alcance .....	7
CAPÍTULO II.....	10
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	10
2.1 Introducción.....	10
2.2 Gallinas de corral .....	11
2.2.1 Reproducción.....	11

2.3	Descripción del proceso de Incubación .....	12
2.3.1	Incubación Natural .....	13
2.3.2	Incubación Artificial .....	14
2.3.3	Incubabilidad .....	15
2.3.3.1	Factores que afectan a la incubabilidad.....	15
2.3.4	Ubicación geográfica de sistemas de incubación.....	17
2.3.5	Duración de la Incubación .....	18
2.3.6	Factores físicos que regulan una incubación satisfactoria .	19
2.3.7	Factores que impiden el desarrollo del embrión.....	26
2.4	Tipos de Sistemas de Incubación.....	27
2.4.1	Horizontales.....	27
2.4.2	Verticales.....	27
2.4.3	De circulación Interna .....	27
2.5	Incubadoras en el mercado .....	28
2.5.1	Incubadora Modelo 16 .....	28
2.5.2	Incubadora Modelo 16 Digital .....	29
2.5.3	Incubadora Modelo 870HS-SINF .....	29
2.6	Sistema de control Automático .....	30
2.6.1	Tipos de Sistemas de Control .....	31
2.6.2	Estrategia de control .....	33
2.6.3	Autómatas Programables .....	36
2.6.4	Dispositivos de Maniobra y Control.....	39
2.6.5	Elementos de Protección .....	41
2.6.6	Sensores .....	41
2.6.7	Señalización .....	43
	CAPÍTULO III.....	45

3	INGENIERÍA BÁSICA .....	45
3.1	Requerimientos del sistema de incubación .....	45
3.2	Tecnologías Aplicables .....	46
3.3	Criterios de diseño del Circuito de Control .....	47
3.3.1	Control de Temperatura.....	48
3.3.2	Control de Humedad.....	49
3.3.3	Control de Volteo .....	51
3.3.4	Control de Nivel .....	52
3.3.5	Grafcet.....	52
3.4	Características Mecánicas del sistema.....	56
3.4.1	Planos y medidas de la estructura .....	56
3.4.2	Ubicación de elementos.....	60
3.5	Dimensionamiento de Sensores .....	65
3.5.1	Sensores de Temperatura .....	66
3.5.1.1	Acondicionamiento de señal.....	67
3.5.2	Sensor de Humedad .....	67
3.5.2.1	Acondicionamiento de señal.....	67
3.5.3	Sensor de Nivel .....	68
3.6	Dimensionamiento de actuadores .....	68
3.6.1	Resistencia eléctrica calorífica.....	68
3.6.2	Resistencia Eléctrica para la Humedad.....	73
3.6.3	Motor de sistema de volteo .....	75
3.7	Dimensionamiento del controlador .....	75
3.7.1	Descripción de funcionamiento del sistema .....	76
3.8	Panel de Operador .....	77
3.9	Fuente de Poder .....	78

3.9.1	Transformador .....	78
3.10	Análisis de entradas y salidas del sistema .....	80
3.10.1	Diagrama de conexión de módulos y entradas .....	80
3.10.2	Diagrama de conexiones de Salida.....	82
3.11	Diseño del circuito de potencia.....	84
3.12	Diagrama de conexión de sensores. ....	85
3.13	Arquitectura del sistema de control .....	86
3.14	Dimensionamiento de Protecciones de resistencia eléctrica ....	87
3.14.1	Relé de estado solido .....	87
3.14.2	Dimensionamiento del conductor .....	88
3.14.3	Fusibles .....	89
3.15	Dimensionamiento de protecciones para el ventilador.....	91
3.15.1	Potencia del ventilador.....	91
3.15.2	Relé .....	91
3.15.3	Fusibles .....	92
3.16	Dimensionamiento de Protecciones del motor de volteo .....	92
3.16.1	Fusibles .....	93
CAPÍTULO IV	.....	94
4	INGENIERÍA DE DETALLE .....	94
4.1	Selección de sensores .....	94
4.1.1	Sensor de temperatura .....	94
4.1.2	Sensor de Humedad .....	96
4.1.3	Sensor de Nivel .....	97
4.2	Selección de actuadores .....	98
4.2.1	Resistencia eléctrica calorífica.....	98
4.2.2	Resistencia eléctrica para la humedad .....	99

4.2.3	Motor de sistema de volteo .....	100
4.3	Selección del controlador Lógico Programable.....	101
4.3.1	Ventajas del Controlador seleccionado .....	102
4.4	Selección del panel operador .....	104
4.4.1	Ventajas de la pantalla de operador seleccionada .....	105
4.5	Accesorios.....	105
4.5.1	Ventilador .....	106
4.5.2	Bandeja para huevos .....	107
4.5.3	Bandeja para la humedad .....	107
4.6	Fuente de poder .....	108
4.6.1	Transformador .....	109
4.7	Selección de protecciones de resistencia eléctrica.....	110
4.7.1	Relé de estado sólido .....	110
4.8	Selección de protecciones para el ventilador.....	111
4.8.1	Relé .....	111
4.9	Tablero de Control.....	112
4.9.1	Distribución de elementos.....	112
4.10	Software para la programación.....	113
4.10.1	Software para el PLC.....	113
4.10.2	Software para el HMI .....	116
4.11	Programación y Parametrización del PLC Controllino .....	118
4.11.1	Grafcet.....	118
4.11.1.1	Programación del menú de selección.....	119
4.11.1.2	Grafcet etapa de reseteo .....	120
4.11.1.3	Grafcet de las etapas de incubación.....	121
4.11.1.4	Grafcet del control de temperatura .....	121

4.11.1.5	Graficet del control de humedad .....	122
4.11.1.6	Graficet del control de nivel .....	123
4.11.2	Identificación de la planta .....	124
4.12	Desarrollo y configuración del HMI.....	132
4.12.1	Funciones del HMI .....	133
4.12.2	Arquitectura del HMI .....	133
4.12.3	Distribución de espacios .....	134
4.12.4	Uso del color en el HMI.....	135
4.12.5	Simbología del HMI .....	136
4.12.6	Configuración del HMI en Nextion Editor .....	137
4.12.7	Diseño y descripción de las HMI .....	138
CAPÍTULO V .....		144
5	IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA .....	144
5.1.	Estructura metálica.....	144
5.2.	Montaje del sistema de volteo (bandejas) .....	146
5.3.	Montaje de Sensores .....	147
5.4.	Montaje del panel operador.....	149
5.5.	Montaje de la repisa de madera .....	149
5.6.	Montaje de los actuadores .....	151
5.7.	Montaje del tablero de control .....	152
5.8.	Desinfección de la máquina .....	157
5.9.	Instalación de todo el sistema .....	158
CAPÍTULO VI .....		161
6	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	161
6.1	Primera prueba de incubación .....	161
6.1.1	Selección de huevos fértiles.....	161

6.1.2 Puesta en marcha del sistema .....	163
6.1.3 Pruebas de ovoscopia .....	164
6.1.4 Día del nacimiento .....	168
6.1.5 Análisis de resultados .....	170
6.1.6 Mejoras al sistema .....	172
6.2 Segunda prueba de incubación .....	174
6.2.1 Selección de huevos fértiles.....	174
6.2.2 Pruebas de ovoscopia .....	175
6.2.3 Día del nacimiento .....	177
6.2.4 Análisis de resultados .....	179
6.3 Comparativas de los dos procesos de Incubación .....	181
6.4 Análisis de costos .....	183
6.5 Comparación del sistema de incubación vs Tradicionales .....	184
6.5.1 Comparativa Sistemas nacionales.....	184
6.5.1 Comparativa con Sistemas de incubación Internacionales ...	186
CAPÍTULO VII .....	188
7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	188
7.1. Conclusiones.....	188
7.2. Recomendaciones.....	190
BIBLIOGRAFÍA.....	191
ANEXOS.....	194

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Datos porcentuales de reproductoras livianas .....	2
Figura 2: Datos porcentuales de reproductoras pesadas .....	3
Figura 3: Gallina de corral.....	11
Figura 4: Dos gallinas sentadas sobre huevos dentro del gallinero.....	14
Figura 5: Defectos de los huevos fértiles .....	16
Figura 6: Gráfica de presión atmosférica vs altura geográfica .....	18
Figura 7: Duración de la Incubación (Día 1-Día 6) .....	19
Figura 8: Duración de la Incubación (Día 7- Día 15) .....	20
Figura 9: Duración de la Incubación (Día 16- Día 21) .....	21
Figura 10: Procesos del embrión en la incubación.....	22
Figura 11: Ángulo de volteo .....	26
Figura 12: Incubadora Modelo 16 .....	28
Figura 13: Incubadora Modelo 16 Digital .....	29
Figura 14: Incubadora Modelo 870HS-SINF .....	30
Figura 15: Esquema General de un sistema .....	31
Figura 16: Diagrama de Bloques en Lazo Abierto.....	31
Figura 17: Diagrama de Bloques en lazo cerrado .....	32
Figura 18: Modelos de Controladores Lógicos Programables marca Siemens.....	37
Figura 19: Termostato electromecánico (Izquierda), Termostato Digital (Derecha).....	38
Figura 20: Reguladores de Humedad de la marca PCE .....	39
Figura 21: Elementos de mando manual .....	40
Figura 22: Sensor de humedad DHT21 .....	42
Figura 23: Sensores de nivel .....	43
Figura 24: Luces piloto para maquinaria industrial .....	44
Figura 25: Posibilidades para resolver una aplicación automatizada .....	47
Figura 26: Sistema de control en lazo cerrado con control PI .....	49

Figura 27: Señal de control On-Off con umbrales de histéresis .....	51
Figura 28: Control On-Off con Histéresis .....	51
Figura 29: Diagrama de grafcet nivel dos reseteo del sistema .....	53
Figura 30: Diagrama de grafcet nivel dos selección de la primera o segunda etapa de incubación .....	54
Figura 31: Diagrama de grafcet nivel dos controlador PI de temperatura.....	55
Figura 32: Diagrama Grafcet nivel dos funciones de control de la humedad relativa .....	56
Figura 33: Diagrama Grafcet nivel dos función para monitorear nivel mínimo de agua .....	56
Figura 34: Estructura física del sistema de incubación .....	57
Figura 35: Estructura física de la repisa que contendrá a la incubadora .....	58
Figura 36: Vista isométrica del sistema de volteo de la incubadora. ....	59
Figura 37: Vista lateral del sistema de volteo de la incubadora.....	60
Figura 38: Ubicación de elementos eléctricos y electrónicos (Pantalla Nextion, Foco interno, Fin de carrera 1, Sensor de Temperatura, Ventilador) .....	61
Figura 39: Ubicación de elementos eléctricos y electrónicos (b. inicio, b. luz interna, luz piloto verde, luz piloto roja).....	62
Figura 40: Ubicación de elementos eléctricos y electrónicos utilizados (Motor de volteo, resistencia calorífica, Fin de carrera 2, Sensor de Humedad) .....	63
Figura 41: Ubicación de elementos eléctricos, electrónicos y accesorios utilizados (Bandejas para los huevos, zumbador y tablero de control).....	64
Figura 42: Ubicación de elementos y accesorios de la incubadora (Repisa de madera, bandeja de agua, resistencia eléctrica de agua, sensor de nivel).....	65
Figura 43: Diagrama de entradas al PLC.....	81
Figura 44: Diagrama de conexiones de salidas del PLC.....	83
Figura 45: Circuito de potencia .....	84
Figura 46. Diagrama de conexión de los sensores .....	85

Figura 47: Arquitectura del sistema de control .....	86
Figura 48: Fusibles estándar en el mercado .....	90
Figura 49: Sensor DS18B20 .....	95
Figura 50: Sensor de Humedad DTH21 .....	97
Figura 51: Sensor de Nivel .....	98
Figura 52: Resistencia eléctrica para generar temperatura .....	99
Figura 53: Resistencia eléctrica de agua .....	100
Figura 54: Motor para incubadoras .....	101
Figura 55: PLC Controllino.....	103
Figura 56: Pantalla Nextion.....	104
Figura 57: Ventilador .....	106
Figura 58: Bandeja para incubación de huevos. ....	107
Figura 59: Bandeja para generar la humedad.....	108
Figura 60: Fuente de Poder .....	109
Figura 61: Transformador convertidor de voltaje de 110v-220v .....	110
Figura 62: Relé de estado sólido .....	111
Figura 63: Diagrama de distribución de los elementos.....	113
Figura 64: Entorno gráfico de Arduino IDE .....	114
Figura 65: Portada oficial de descarga de Controllino.....	115
Figura 66: Librería para controlador Controllino.....	115
Figura 67: Añadiendo la librería en el programa Arduino IDE .....	116
Figura 68: Página oficial de Nextion Editor .....	117
Figura 69: Entorno de programación para la pantalla Nextion .....	117
Figura 70: Funciones creadas en la programación .....	119
Figura 71: Diagrama Grafcet nivel tres reseteo del sistema.....	120
Figura 72: Diagrama Grafcet nivel tres dos etapas de incubación .....	121
Figura 73: Diagrama de Grafcet nivel tres control PI.....	122
Figura 74: Diagrama Grafcet nivel tres control de humedad relativa.....	123
Figura 75: Diagrama Grafcet nivel tres control de nivel de agua .....	124
Figura 76: Circuito de Cruce por cero .....	125
Figura 77: Circuito de potencia con optocoplador .....	126
Figura 78: Código para obtención de los datos de la planta.....	127

Figura 79: Datos de temperatura obtenidos en monitor serie de Arduino IDE.....	127
Figura 80: Vector de entrada en el Worskpace de Matlab.....	128
Figura 81: Datos de salida de la planta (temperaturas).....	128
Figura 82: Importación de los datos de entrada y salida obtenidos.....	129
Figura 83: Datos importados para la identificación de la planta .....	129
Figura 84: Función de transferencia obtenida .....	130
Figura 85: Interfaz de la función pidtool de Matlab.....	130
Figura 86: Valores obtenidos de las constantes del controlador. ....	131
Figura 87: Simulación del controlador usando Simulink.....	131
Figura 88: Señal de Control .....	132
Figura 89: Arquitectura y navegación entre pantallas .....	133
Figura 90: Distribución de espacios del HMI .....	134
Figura 91: Entorno Gráfico de la interfaz HMI .....	138
Figura 92: Pantalla principal .....	139
Figura 93: Pantalla de inicio de proceso .....	140
Figura 94: Pantalla de parámetros de incubación .....	141
Figura 95: Pantalla donde se encuentra desactivada la opción de iniciar proceso y activada para ir a la página de reseteo del sistema .....	141
Figura 96: Pantalla de reseteo del sistema .....	142
Figura 97: Ventana de Alarmas .....	143
Figura 98: Lana de vidrio .....	144
Figura 99: Carcasa externa reciclable de un horno eléctrico adaptado al sistema de incubación.....	145
Figura 100: Estructura implementada con aislante de lana de vidrio .....	145
Figura 101: Elaboración de los soportes para las bandejas en el sistema de volteo .....	146
Figura 102: Montaje de bandejas sobre el sistema de volteo.....	146
Figura 103: Instalación del sensor de temperatura .....	147
Figura 104: Instalación de los fines de carrera del sistema de volteo .....	147
Figura 105: Instalación del sensor de humedad.....	148



Figura 137: Salida completa del cascarón .....	169
Figura 138: Resultado Final en la nacedora.....	169
Figura 139: Huevos que no lograron eclosionar.....	170
Figura 140: Datos porcentuales de la primera incubación .....	171
Figura 141: Curvas de rendimiento en pruebas de ovoscopia realizadas durante la primera incubación .....	171
Figura 142: Calibración del sensor de temperatura.....	173
Figura 143: Calibración del sensor de humedad.....	173
Figura 144: Malla de protección para la bandeja de agua.....	174
Figura 145: Segunda prueba de incubación huevos fértiles.....	175
Figura 146: Segunda prueba de incubación de un huevo fértil (día 7) .....	175
Figura 147: Segunda Prueba de incubación de un huevo infértil (día 7) ....	176
Figura 148: Segunda prueba de incubación de un huevo fértil (día 14) .....	176
Figura 149: Segunda prueba de incubación de un huevo infértil (día 14)...	176
Figura 150: Segunda prueba de incubación de un huevo fértil (día 18) .....	177
Figura 151: Segunda prueba de incubación de un huevo infértil (día 18)...	177
Figura 152: Eclosión de los huevos incubados .....	178
Figura 153: Nacimiento del pollito.....	178
Figura 154: Pollitos ubicados en una nacedora .....	179
Figura 155: Resultados finales de la segunda incubación .....	179
Figura 156: Datos porcentuales de la segunda incubación.....	180
Figura 157: Curvas de rendimiento en pruebas de ovoscopia realizadas durante la segunda incubación .....	181
Figura 158: Datos de natalidad comparando 1ra Incubación con respecto a la 2da Incubación .....	182
Figura 159: Datos de mortalidad comparando 1ra Incubación con respecto a la 2da Incubación .....	182
Figura 160: Datos de Infertilidad comparando 1ra Incubación con respecto a la 2da Incubación .....	183

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Reproductoras Livianas .....	2
Tabla 2. Reproductoras Pesadas.....	3
Tabla 3. Valores en porcentaje de gases de acuerdo a la altura geográfica .....	17
Tabla 4. Etapas de incubación acorde a la Temperatura .....	22
Tabla 5. Etapa de incubación acorde a la humedad relativa .....	24
Tabla 6. Distribución del sistema de volteo por días .....	25
Tabla 7. Elementos de Protección .....	41
Tabla 8. Características técnicas de diseño para el sensor de temperatura .....	66
Tabla 9: Requisitos del sensor de temperatura para el circuito de acondicionamiento de señal.....	67
Tabla 10. Características técnicas de diseño del sensor de humedad .....	67
Tabla 11: Requisitos del sensor de humedad para el circuito de acondicionamiento de señal.....	68
Tabla 12. Características técnicas de diseño del sensor de nivel .....	68
Tabla 13. Características técnicas de diseño para la resistencia calorífica ..	72
Tabla 14. Características técnicas de diseño para la resistencia de la humedad.....	74
Tabla 15. Características técnicas del motor de volteo .....	75
Tabla 16. Especificaciones para el controlador (PLC).....	77
Tabla 17. Características técnicas de diseño para el panel operador .....	78
Tabla 18. Características técnicas de diseño para la fuente de poder .....	78
Tabla 19. Características técnicas de diseño para el transformador .....	80
Tabla 20. Selección del calibre del conductor de la resistencia .....	89
Tabla 21. Características técnicas de diseño para el fusible de la resistencia eléctrica .....	90
Tabla 22. Especificaciones técnicas del relé para el ventilador.....	92

Tabla 23. Características técnicas de diseño para el fusible del ventilador ..	92
Tabla 24. Características técnicas de diseño para el fusible del motor .....	93
Tabla 25. Detalles técnicos del sensor.....	96
Tabla 26. Detalles técnicos del sensor de Humedad .....	97
Tabla 27. Detalles técnicos del sensor de nivel .....	98
Tabla 28. Detalles técnicos de la resistencia calorífica .....	99
Tabla 29. Detalles técnicos del Humidificador (Resistencia eléctrica) .....	100
Tabla 30. Detalles técnicos del motor de sistema de volteo.....	101
Tabla 31. Comparativa entre varias marcas de PLC.....	102
Tabla 32. Principales características del PLC .....	103
Tabla 33. Características Técnicas de la pantalla Nextion .....	104
Tabla 34. Cuadro comparativo de pantallas de operador.....	105
Tabla 35. Detalles técnicos del ventilador .....	106
Tabla 36. Especificaciones de la bandeja para huevos de gallina .....	107
Tabla 37. Especificaciones de la bandeja para la humedad.....	108
Tabla 38. Detalles técnicos de la fuente de poder .....	109
Tabla 39. Especificaciones técnicas del transformador 110v-220v .....	110
Tabla 40. Detalles técnicos del relé SSR .....	111
Tabla 41. Especificaciones técnicas del relé para el ventilador.....	112
Tabla 42. Etiquetas de las entradas del PLC Controllino .....	118
Tabla 43. Etiquetas de las entradas desde la pantalla Nextion al PLC .....	118
Tabla 44. Etiquetas de las salidas del PLC Controllino .....	118
Tabla 45. Uso de color en el HMI.....	135
Tabla 46. Simbología del HMI.....	136
Tabla 47. Código de colores para conductores industriales .....	155
Tabla 48. Primera prueba de ovoscopia .....	164
Tabla 49. Segunda prueba de incubación.....	165
Tabla 50. Tercera prueba de ovoscopia.....	167
Tabla 51. Datos obtenidos de la primera incubación.....	170
Tabla 52. Datos obtenidos de la segunda incubación .....	180
Tabla 53. Análisis de costos .....	183

Tabla 54. Tabla comparativa del sistema de incubación implementado con respecto a los tradicionales en el país.....	184
--	-----

## **RESUMEN**

El proyecto diseñado e implementado es un sistema de incubación artificial para huevos de gallina, que será utilizado por la Unidad Productiva Agropecuaria Majavi. Es un nuevo sistema implementado en la empresa debido a que entre varias actividades de producción se dedican a la crianza de pollos de engorde queriendo incursionar con el sistema de incubación artificial partiendo ya no solo desde comprar un polluelo pequeño sino también poderlo dar vida a partir de un huevo fértil a través de este sistema. Por lo tanto la empresa decidió prestar las facilidades de la estructura en donde ha sido implementado el sistema de incubación cumpliendo con los objetivos planteados de funcionamiento.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **SISTEMA DE INCUBACIÓN**
- **HUEVO FÉRTIL**
- **POLLOS DE ENGORDE**

## **ABSTRACT**

The project designed and implemented is an artificial incubation system for chicken eggs, which will be used by the Majavi Agricultural Production Unit. It is a new system implemented in the company due to the fact that among several production activities are dedicated to raising broilers wanting to venture with the artificial incubation system starting not only from buying a small chick but also being able to give life from a fertile egg through this system. Therefore, the company decided to provide the facilities of the structure where the incubation system has been implemented, in compliance with the proposed operating objectives.

### **KEYS WORDS:**

- **INCUBATION SYSTEM**
- **FERTILE EGG**
- **BROILERS**

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1 Antecedentes**

La Unidad Productiva Agropecuaria Majavi fundada en el año 2009 se encuentra localizada en la provincia de Esmeraldas ubicada en el Km 54 Vía Quininde y Margen Izquierdo, se dedica a la micro producción de pollos de engorde, además de entre otras actividades de Producción en el ámbito agrícola.

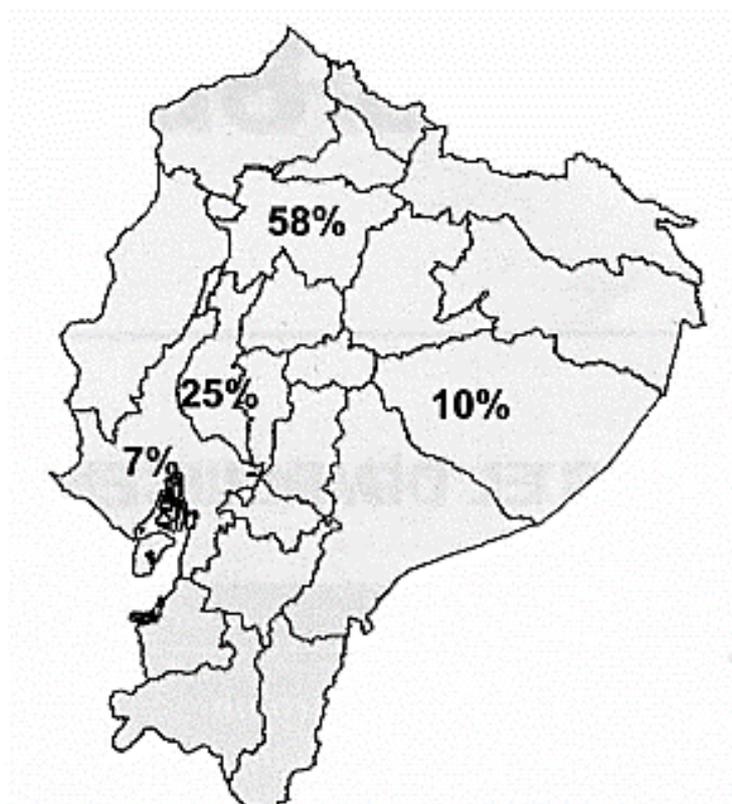
Se denomina incubadora de huevos a un sistema que tiene la función de crear un entorno con una humedad y una temperatura adecuada, para el nacimiento de seres vivos ovíparos.

En las últimas décadas, se han descubierto nuevas y mejores formas para la fabricación de incubadoras de granja y de casa.

Según el último censo que se realizó entre los meses de Julio y Agosto de 2006 a las incubadoras se presentó la información de las plantas de incubación artificial que operan en el país, personal del SESA (Servicio Ecuatoriano de Sanidad Agropecuaria) y de CONAVE (Corporación Nacional de Avicultores del Ecuador) visitaron las plantas de incubación instaladas en tan solo 6 provincias del país, el censo se realizó con una boleta que fue analizada y aprobada por el personal de CONAVE y del SESA los resultados serán tabulados a continuación tabla1 y tabla 2:

**Tabla 1.**  
**Reproductoras Livianas**

Provincia	Capacidad en reproductoras
Pichincha	163.200
Los Ríos	69.100
Pastaza	28.200
Guayas	21.000
Total	281.500

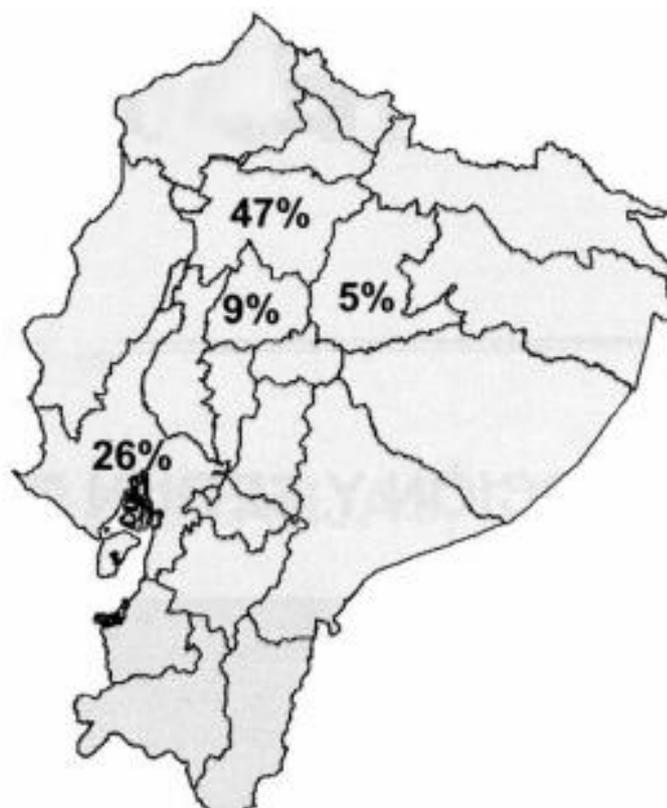


**Figura 1: Datos porcentuales de reproductoras livianas**

Fuente: (Orellana, 2007)

**Tabla 2.**  
**Reproductoras Pesadas**

Provincia	Capacidad en reproductoras
Pichincha	987.000
Guayas	543.000
Cotopaxi	178.500
Napo	101.800
Resto	276.800
Total	2'087.100



**Figura 2: Datos porcentuales de reproductoras pesadas**

Fuente: (Orellana, 2007)

Por lo tanto esto se resume que en Ecuador no se está explotando debidamente el recurso de incubación artificial de huevos.

Uno de los objetivos de las incubadoras es lograr que principalmente las granjas avícolas logren éxito y desarrollo en sus negocios, por medio de este sistema.

La forma más barata pero no tan segura de incubar un huevo o varios de ellos, es tener una caja de cartón o de madera y un simple foco de cualquier cantidad de watts y unos recipientes de agua para vaporizar el ambiente y así tener una buena humedad dentro del recinto, este tipo de incubación presenta una “tasa de natalidad del 50% debido al inexistente control de las condiciones ambientales a comparación de las incubadoras artificiales que presentan una tasa de natalidad de cerca del 86.45% según un estudio realizado en la Universidad Nacional Agraria La Molina, en Lima-Perú” (Ortiz Chávez, 2016).

Otra de las formas para incubar son las revolucionarias incubadoras con controles y algoritmos sofisticados para su implementación, las cuales cuentan con la adecuada tecnología de control para tener el ambiente requerido, pero su costo es demasiado elevado o son dimensionadas para altos niveles de crianza de aproximadamente de 1000 huevos en adelante, lo cual no lo hacen aplicable a pequeños o medianos criaderos.

## **1.2 Justificación e importancia**

Con la ejecución de este proyecto se pretende desarrollar el control para un prototipo de una incubadora de huevos de aves de corral, la cual aportará a una mayor producción de crías de aves, ya sea para evitar el desperdicio de la materia prima, para disminuir el tiempo de nacimiento de los mismos y reducir la tasa de mortalidad.

Más que un proyecto de grado se presenta como una oportunidad de emprendimiento al ser un prototipo que va a suplir la necesidad de la Unidad

Productiva Agropecuaria Majavi, que entre otras prestaciones del ámbito agrícola, le permitirá incursionar en la incubación artificial de huevos, para lograr un crecimiento en sus campos de producción.

El control de temperatura para este proyecto es fundamental puesto que se debe simular el proceso natural donde la gallina se coloca sobre los huevos para calentar a la célula y que se desarrolle el embrión. Una temperatura inadecuada causa una muerte prematura al embrión o un retraso en el desarrollo embrionario produciendo el nacimiento de un pollo débil.

Adicionalmente, el control de humedad es el que permite el ablandamiento de la cáscara del huevo, este control es muy riguroso debido a que si el sistema tiene una humedad muy baja producirá que el embrión se adhiera a la cáscara del huevo y que no se produzca el nacimiento del pollo o si la humedad es muy alta se producirá el nacimiento de pollos débiles y con posibles deformidades. Como se entenderá al ser un proceso muy delicado se necesitará del método científico para el análisis, diseñando procedimientos experimentales para corregir los errores que se presenten.

Como punto de vital importancia se debe tener en cuenta que una gallina cuando está en proceso de incubación de un huevo, esta mantiene ciertos rangos de temperatura durante todo el proceso, saliendo por cortos periodos de tiempo solo para alimentarse. Por la necesidad presentada el control que se presentará en el proyecto debe mantener una temperatura constante de 37 y 37.8°C durante 18 días aproximadamente para los últimos 3 días restantes se deberá presentar una temperatura entre los 36.5 y 37 °C para finalizar la incubación, con el fin de lograr mantener el entorno adecuado para la correcta incubación de los huevos.

Todos estos dispositivos tendrán su principal enfoque en la realidad económica de los agricultores ecuatorianos, es por esta razón que los dispositivos a ser seleccionados deberán ser de bajo costo, pero sin olvidar la calidad de los mismos. Es por ello que se buscará un equilibrio en lo económico como en la calidad.

En vista de lo planteado se ha determinado que es importante un control automático sobre la incubadora de huevos de aves de corral, ya que la automatización en general, es una estrategia clave para la mejora de la precisión, exactitud y facilidad al momento de uso. Todo esto conlleva a una mejora para el usuario ya que se manipula los datos más versátilmente para permitir alcanzar objetivos que de otro modo difícilmente podrían conseguirse.

Como punto muy importante se debe tener en cuenta que Ecuador es un país en vías de desarrollo, por lo cual no es fácil implementar nuevas tecnologías del mercado en los centros avícolas, debido a ello el proyecto brindará los beneficios planteados para poder implementar este tipo de sistemas en el país.

Al ser un proyecto multidisciplinario se entiende que no solo contiene ideas, conceptos, diseños de la carrera de Ingeniería Electrónica sino de carreras como Ingeniería Agropecuaria e incluso Ingeniería Mecánica, todo con el fin de aportar al crecimiento en la producción de crías de aves.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

- Diseñar e implementar un prototipo de una incubadora de huevos automática que permita incursionar a la Unidad Productiva Agropecuaria Majavi en la incubación artificial.

#### **1.3.2 Objetivo específicos**

- Diseñar un sistema de ventilación que permita la correcta circulación de aire dentro de la incubadora.
- Diseñar un sistema que permita generar la humedad relativa necesaria para el proceso de incubación.

- Diseñar un control de nivel para mantener con agua el sistema que genera la humedad en la incubadora.
- Implementar un sistema de volteo para evitar que los embriones se peguen a la cascara.
- Implementar una estructura física adecuada para lograr generar un ambiente adecuado para la incubación.
- Implementar un sistema de control que permita realizar el seguimiento de la temperatura, humedad y volteo necesarios para la incubadora.

#### **1.4 Alcance**

El proyecto se centra en el control de temperatura, humedad y el control de un sistema de volteo de las cubetas para una incubadora de huevos; que puede ser capaz de contener 192 huevos en su interior permitiendo la transformación en embriones y posteriormente el nacimiento de las aves.

Para esto se detallarán los siguientes aspectos.

En la primera etapa del proyecto se realizará la búsqueda de información de sistemas de incubación como de los distintos elementos a utilizarse con sus respectivas especificaciones técnicas. La documentación que será entregada consta básicamente de la arquitectura del sistema de control, diagramas eléctricos del sistema y el manual de usuario.

La segunda etapa del proyecto consistirá en el modelamiento matemático de la incubadora de huevos de gallina, esto quiere decir, el análisis de todos los elementos que contiene el prototipo, logrando desarrollar un modelo matemático adecuado para el prototipo.

Se definirá la técnica de control adecuada para el proceso, variables a controlar, y su respectivo diseño. En esta parte, además, se dimensionará el tipo de controlador a emplearse, la programación y los módulos necesarios para las conexiones del sistema.

Por otro lado, el sistema debe poseer ventilación, la cual simula el proceso natural donde la gallina mueve a los huevos, esto ayuda a que el embrión adquiera el oxígeno que necesita para su respiración y que sea eliminado el anhídrido carbónico producido durante la respiración, es decir, mediante la ventilación se renueva el aire.

Además, la ventilación ayuda a que la temperatura dentro de la incubadora llegue de forma uniforme a todos los huevos evitando así que los que se encuentran más cercanos a la fuente de calor lleguen a eclosionar antes que los que están más alejados.

La tercera etapa del proyecto es la implementación de un actuador de temperatura el cual será ubicado en la parte superior de la incubadora, y a través del ventilador colocado de igual manera en la parte superior poder obtener una uniformidad de temperatura en el sistema.

La cuarta etapa del proyecto serán sus bandejas oscilantes, para esto se necesitará realizar un control de volteo, que se accionaran cada 2 horas los primeros 18 días, y dejando de funcionar este sistema para permitir que los pollitos se posicionen para eclosionar los 3 últimos días de la incubación.

Una quinta etapa del proyecto será desarrollar el control de humedad, para esto se debe diseñar un sistema que permita tener la humedad relativa necesaria en el ambiente de 50% a 56% aproximadamente durante los primeros 18 días, para luego variar a una humedad relativa del 66% para los últimos 3 días del proceso, esto implica una bandeja con agua en su interior que permita generar la humedad relativa, cabe mencionar que el control de humedad deberá también de disponer de un control de nivel con su respectiva alarma de aviso si el nivel del agua es demasiado bajo.

La última etapa del proyecto corresponde a la implementación de una interfaz que permitirá visualizar el estado de la incubadora, esto quiere decir la temperatura, humedad [°C], [%], y el tiempo [Días, horas, minutos, segundos] para incubar los huevos.

Una vez culminado los sistemas de control de temperatura, humedad, y de volteo se procederá a realizar las pruebas necesarias con diferentes datos de temperaturas y humedades, para posteriormente ingresar los datos reales para una adecuada incubación.

Cabe recalcar que el sistema de incubación intenta reemplazar la incubación natural por un sistema artificial de incubación, que brinde características similares para el desarrollo de los embriones como lo hace una gallina.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1 Introducción

En la actualidad con el avance de la tecnología, el hombre se ha propuesto mejorar sus labores cotidianas, mejorar los procesos de producción, con la finalidad de ser más competitivo y generar una mayor riqueza a través de su trabajo, e incluso tratando de reemplazar procesos que pueden realizar los distintos animales. Este avance tecnológico se lo llama automatización.

Por lo tanto la automatización se lo puede definir como el arte de poder reemplazar procesos mecanizados sea de una persona o animal, por procesos mediante equipos electrónicos industriales programadas para lograr un control en la toma de decisiones en cada fase de un proyecto.

En esta etapa de la automatización para procesos que realizan los animales el proyecto se ha enfocado en los sistemas de incubación artificial para huevos de aves de corral, las mismas que existen desde los modelos de incubadoras más elementales y caseras hasta llegar a sistemas totalmente automatizados.

En cuanto a la industria de incubación artificial en el Ecuador, se puede mencionar que existen ciertas empresas dedicadas a la prestación de estos servicios avícolas, que en la actualidad utilizan sistemas totalmente automatizados a gran escala para lograr el producto final que es el nacimiento de crías.

Finalmente en el presente capítulo se realiza una revisión literaria de todos los conceptos fundamentales para entender la temática del proyecto.

## 2.2 Gallinas de corral

Las Gallinas de corral figura 3, son aquellas que no vuelan, suelen pasar por el suelo y alimentarse de granos y verduras.

Las gallinas suelen ser pequeñas y su característica fundamental es que durante todo el año suelen poner uno o varios huevos al día.



**Figura 3: Gallina de corral**

### 2.2.1 Reproducción

Su reproducción es sexual, el macho (gallo) copula con la gallina y fecunda el huevo que crece dentro de esta. Cada cierto tiempo las gallinas dejan de poner y muestran una gran propensión a sentarse sobre sus nidos para incubar los huevos.

### 2.3 Descripción del proceso de Incubación

Se puede definir incubación como el conjunto de factores físicos presentes en el medio ambiente que rodea al huevo (temperatura, humedad, ventilación y volteo de los huevos).

Los productores avícolas suelen interesarse en la incubación de sus propias aves. El éxito del sistema depende de los cuidados que se tengan para la incubación y así poder producir pollitos sanos y vigorosos.

El proceso de incubación empieza con la selección de huevos fértiles la gran mayoría de productores, no es cuidadoso en la selección de este tipo de huevos por lo cual se debe tener en cuenta los siguientes consejos como lo cita el artículo Cuidado e incubación de los huevos fértiles (Universidad de Misisipi, 2013)

- Se debe seleccionar huevos de gallinas reproductoras que sean maduras y libres de cualquier enfermedad.
- Que no estén muy trastornadas durante la etapa de apareamiento.
- Que su dieta sea completamente para gallinas reproductoras.
- Que genéticamente las gallinas no estén de una manera directa relacionada como puede ser hermanos, hermanas, madre, padre, etc.
- Para una adecuada incubación se debe obviar los huevos que sean demasiado grandes o viceversa, cascaras agrietadas, deformes o delgadas.
- En un sistema de incubación se debe mantener los huevos que estén libres de suciedades, de ser el caso no se debe lavar los huevos ni tratar de limpiarlos con un paño húmedo, debido a que quita la capa protectora del huevo y lo vuelve frágil para las enfermedades. Además realizar la operación de lavar y frotar permite al micro organismo de las enfermedades ingresar a través de los poros de la cáscara.

Todos estos consejos deben complementarse con un correcto cuidado y almacenamiento de los huevos, ya que muchos productores son cuidadosos con el proceso de la incubación pero no con el proceso que con lleva antes de esta.

### **2.3.1 Incubación Natural**

La palabra incubación se deriva del latín *incubare*, que significa “acostarse sobre”. Este proceso de incubación natural como se muestra en la figura 4 se desarrolla cuando una gallina se sienta sobre los huevos durante 3 semanas aproximadamente transmitiendo el calor de su cuerpo, para que el germen contenido en ellos evolucione hasta que un nuevo ser salga al exterior con vida propia llamado técnicamente como “Clueca” o “sentado”. Los huevos en el nido se llaman una “nidada o puesta” (OMLET, 2003). Cuando la gallina se pone “Clueca” se producen cambios fisiológicos y hormonales uno de ellos es cuando el ave pierde parte de las plumas y de la grasa de las regiones pectoral y abdominal, todo con la finalidad de llegar a la temperatura idónea para la incubación, el proceso también necesita de humedad, ventilación y un cierto grado de movimiento para que se desarrolle el embrión en su interior.

La humedad natural que genera la gallina se la obtiene mojando con el pico las plumas del abdomen cuando se levanta del nido a beber agua. La ventilación la realiza cuando el ave se levanta para comer o beber, y finalmente el movimiento de los huevos lo realiza con las patas y el pico, con el objetivo de que la yema no se pegue a las paredes internas de la cáscara, lo que desataría en la muerte del embrión.



**Figura 4: Dos gallinas sentadas sobre huevos dentro del gallinero**

Fuente: (OMLET, 2003)

### **2.3.2 Incubación Artificial**

Con el uso de máquinas incubadoras, el hombre ha logrado simular los procesos naturales que tiene una gallina al momento de una incubación natural, se trata de un mal necesario ya que un productor si desea un crecimiento en los niveles de producción de sus aves necesariamente tiene que recurrir a este tipo de sistemas en donde se pueden diferenciar varios tipos de incubadoras artificiales dependiendo de la necesidad y los planes a futuro que tenga cada productor.

Hace 2400 años ya los egipcios construían plantas incubadoras con capacidad para 90.000 huevos. Estas plantas fabricadas con ladrillos de barro, generalmente consistían en un edificio con un corredor o pasillo central, con una serie de cámaras o cuartos de incubación a ambos lados del pasillo. Obtenían la temperatura y la humedad necesaria de la fermentación del estiércol de camello. Por medio de aberturas o ventanas en el techo y en las paredes de las cámaras, regulaban la ventilación, la temperatura y la humedad. El movimiento o volteo de los huevos era efectuado manualmente (Vaca Adam, 1991). También se dice que las personas que trabajaban en

estas plantas incubadoras tenían la capacidad de detectar con su propio cuerpo los cambios del medio ambiente y así poder determinar los cambios necesarios para lograr el ambiente adecuado para los huevos. Era una habilidad que se la transmitió por generaciones de padres a hijos

Actualmente existen diversas modernas máquinas incubadoras que incorporan diseños altamente sofisticados que fácilmente reemplazan con precisión las necesidades biológicas del embrión en desarrollo, superando notablemente a la capacidad de incubación de las aves.

### **2.3.3 Incubabilidad**

“La incubabilidad es la facultad o capacidad del huevo para eclosionar, produciendo un pollito viable” (TECNA, 2011). Es decir se puede hacer una relación entre los pollitos nacidos y los huevos cargados en la incubadora, hablando entonces respectivamente de la incubabilidad “sobre carga” o “sobre Fértiles”.

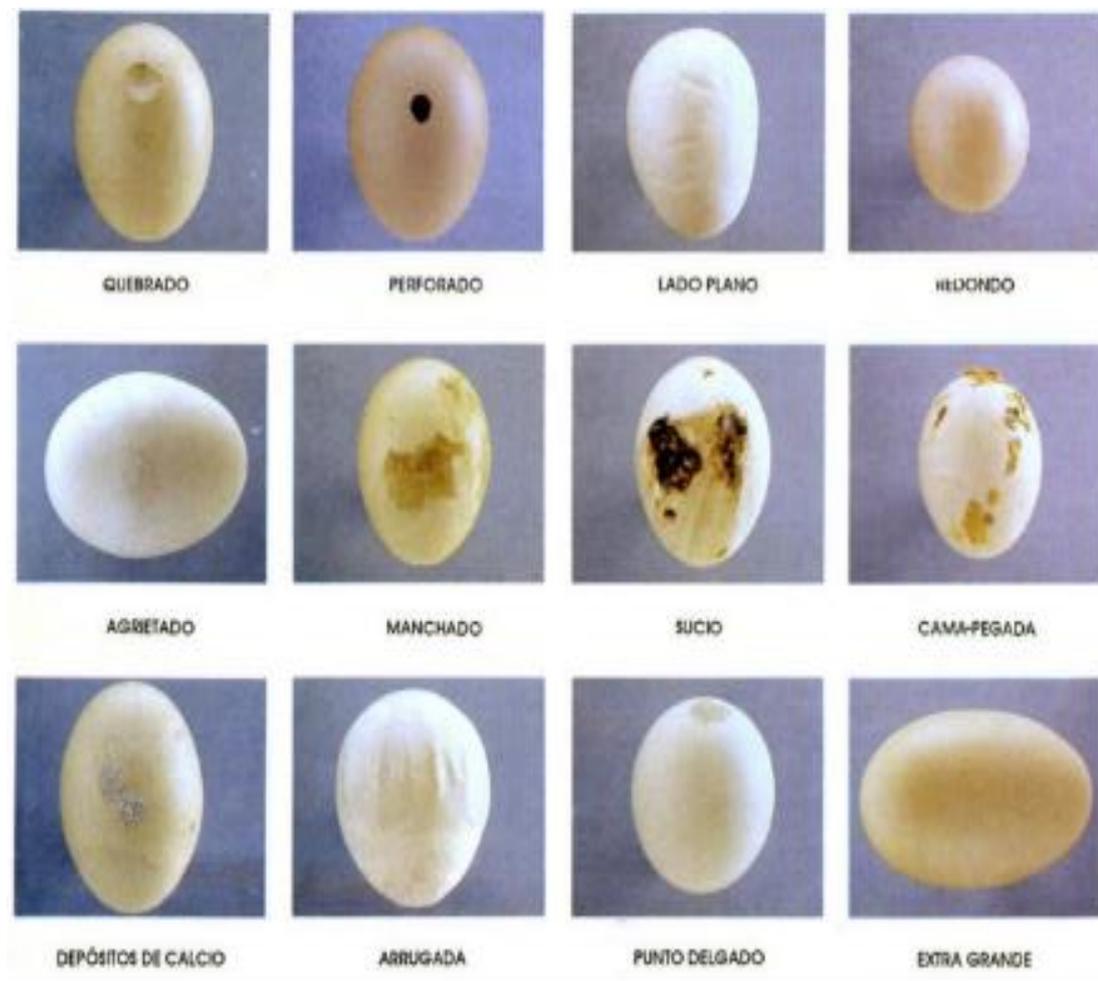
También se menciona que la incubabilidad es una cualidad genética que puede mejorarse si se adoptan los métodos de selección y reproducción apropiados, aunque, por otra parte se menciona que son muchos los factores que influyen para que un huevo posea una buena incubabilidad.

#### **2.3.3.1 Factores que afectan a la incubabilidad**

Entre los factores que se pueden presentar para afectar la incubabilidad de un huevo se detallan los siguientes:

- Manejo y almacenamiento defectuosos del huevo.
- La infertilidad
- La contaminación de los huevos,
- Defectos en el cascarón de huevos fértiles (figura 5),

- Ubicación de la incubadora que está situada a más de 1500 m sobre el nivel del mar.
- Diferencias en el tamaño, malas condiciones de incubación, problemas genéticos, enfermedades de los reproductores, así como una fecundación deficiente (Barrera Gutiérrez, 2006).



**Figura 5: Defectos de los huevos fértiles**

Fuente: (Barrera Gutiérrez, 2006)

### 2.3.4 Ubicación geográfica de sistemas de incubación.

Dentro de los consejos para obtener una buena natalidad en los sistemas de incubación se presenta sobre la ubicación geográfica del sistema de incubación. Por lo cual este no es efectivo si se instala en altitudes mayores a 1500 m sobre el nivel del mar, ya que presenta algunos desafíos particulares, como un menor crecimiento del embrión, periodos de incubación más largos y menor porcentaje de eclosión.

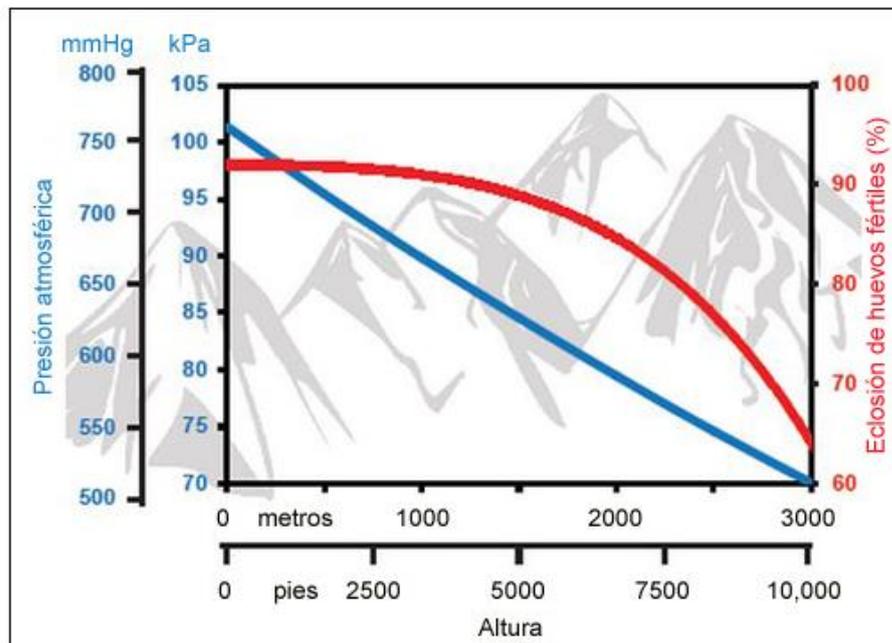
El aire contiene siempre aproximadamente 21% de oxígeno, pero a grandes altitudes (1500 metros o más sobre el nivel del mar) la presión del aire disminuye, lo que quiere decir es que hay menos aire en el ambiente, y eso significa que a grandes alturas los embriones de pollos presentan menor fuente de oxígeno y deshidratación (AVICOLA, 2013).

A continuación se presenta la tabla 3, donde se puede apreciar en la altura los gases se mueven a través de los poros de la cáscara de huevo más rápido.

**Tabla 3.**  
**Valores en porcentaje de gases de acuerdo a la altura geográfica**

<b>Altura en metros</b>	<b>Porcentaje de incremento de velocidad con la cual los gases pueden atravesar la cáscara del huevo en comparación al nivel del mar.</b>
0	-
500	6
1000	13
1500	20
2000	27
2500	36
3000	45

A continuación se presenta una gráfica estadística figura 6, de cómo puede afectar la presión atmosférica en la incubabilidad y como esta se disminuye de gran manera mientras la altura se incrementa.

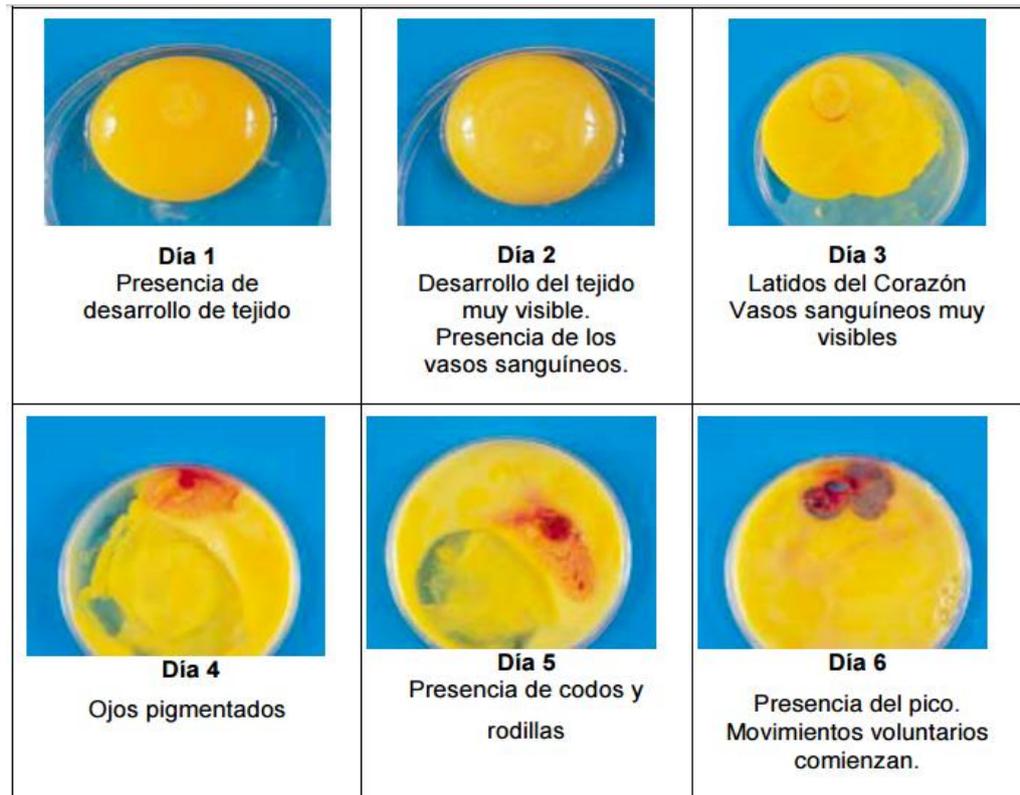


**Figura 6: Gráfica de presión atmosférica vs altura geográfica**

Fuente: (AVICOLA, 2013)

### 2.3.5 Duración de la Incubación

El huevo de gallina fecundado que es sometido a un proceso de incubación requiere de aproximadamente 21 días para eclosionar figura 7 a la figura 9 donde se ve el desarrollo que tiene el embrión durante este tiempo, estos parámetros pueden variar ya sean adelantarse o retardarse en 12 o 24 horas de ser necesario de acuerdo a los embriones que se disponga en ese momento dentro de la incubadora.



**Figura 7: Duración de la Incubación (Día 1-Día 6)**

Fuente: (UNAM, 2013)

### 2.3.6 Factores físicos que regulan una incubación satisfactoria

Para lograr desarrollar un entorno adecuado para el nacimiento de los pollitos se debe tener en cuenta ciertas condiciones físicas como lo son:

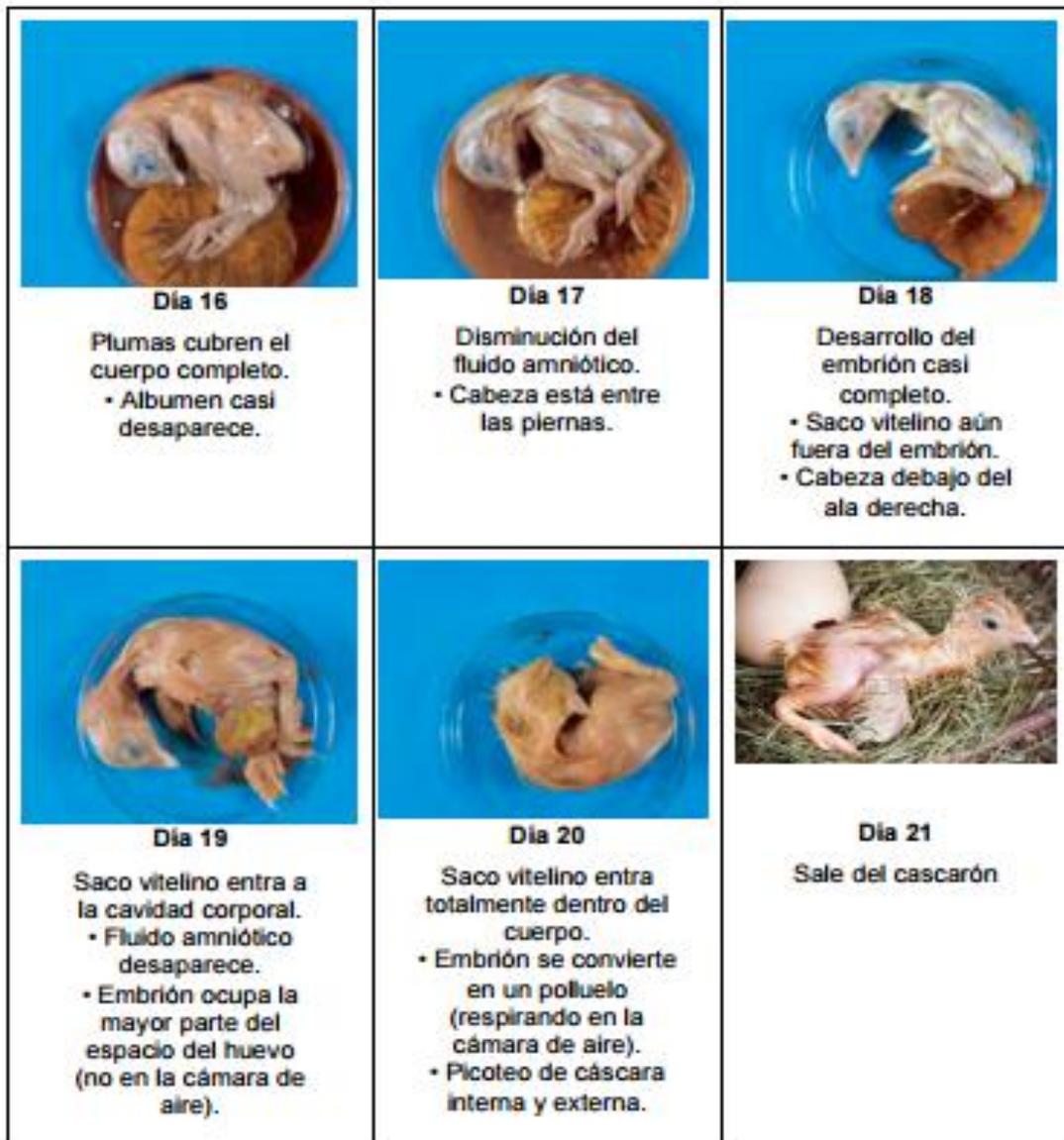
#### 2.3.6.1 Temperatura

La temperatura en los sistemas de incubación artificiales es de vital importancia ya que de haber pequeñas variaciones en sus valores pueden resultar letales para muchos embriones.



**Figura 8: Duración de la Incubación (Día 7- Día 15)**

Fuente: (UNAM, 2013)

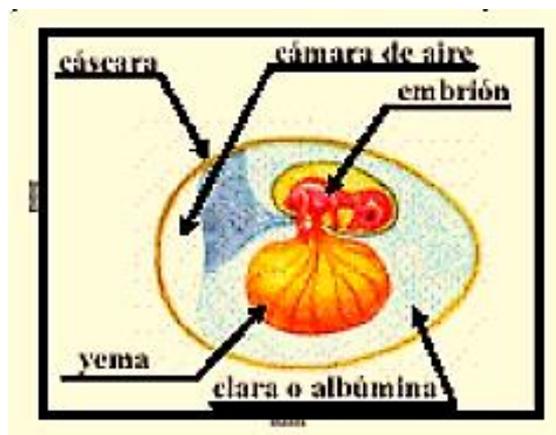


**Figura 9: Duración de la Incubación (Día 16- Día 21)**

Fuente: (UNAM, 2013)

Cuando el huevo se somete a temperaturas de incubación que se desarrollan entre los 37 y 38 °C es donde el embrión adquiere vida; este va creciendo, y va adquiriendo forma con todos los nutrientes de las sustancias que contiene la yema, a medida que van pasando los días, primero se va extendiendo la yema, y después por la clara hasta abarcar la totalidad del interior Figura 10. Una vez formado el polluelo, sirviéndose del diamante (minúscula protuberancia córnea situada en el extremo de la mandíbula

superior) rompe el cascaron. A los pocos días de la eclosión desaparece el diamante”.



**Figura 10: Procesos del embrión en la incubación**

Fuente: (Roque, 2005)

La temperatura a la que debe permanecer el sistema de incubación se detalla en la siguiente Tabla 4, teniendo en cuenta que el proceso básicamente se divide en dos etapas de temperatura, la primera etapa durante aproximadamente 18 días y finalmente los últimos 3 días. Según los entendidos en el tema avícola establecen como parámetros de tolerancia:

- Tolerancia máxima de temperatura no debe superar los 38°C
- Tolerancia mínima de temperatura no debe bajar de los 37°C

**Tabla 4.  
Etapas de incubación acorde a la Temperatura**

Factor físico	1 Etapa de incubación (primeros 18 días)	2 Etapa de incubación (últimos 3 días)
Temperatura	37°C-37.8°C	36°C-37°C

Una vez establecida la temperatura a que se debe trabajar es necesaria mantenerla en ese punto precisa ya que elevaciones temporales de un solo grado reducen la incubabilidad.

Por ejemplo si se presentan temperaturas más altas de lo normal tienen un mayor daño que las más bajas, ya que causan una fuerte deshidratación, nacimientos prematuros y alta mortalidad de los pollitos, al nacer y durante los primeros días de vida ya que nacen con varios problemas de índole física y son propensos a enfermedades. De prolongarse por un largo periodo las temperaturas altas causan una alta mortalidad de los embriones sea cual sea la etapa en que se encuentren de desarrollo.

Al contrario temperaturas inferiores a las establecidas en la tabla 4 reducen de forma proporcional el porcentaje de incubación. Lo que causa es que los nacimientos se retarden y muchos pollitos se observen inmaduros de un aspecto débil y con los ombligos aun no cicatrizados.

### **2.3.6.2 Humedad Relativa**

Se define a la humedad relativa como la razón entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor saturado a una temperatura dada que generalmente se la expresa como porcentaje (Giancoli, 2006).

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Presión Parcial de H}_2\text{O}}{\text{Presión de Vapor Saturado de H}_2\text{O}} \times 100\%$$

Por lo tanto si la humedad es cercana al 100%, es cuando el aire retiene casi todo el vapor de agua que puede.

Como un análisis que plantea el libro de Producción Avícola (Vaca Adam, 1991), se dice también que los humanos somos sensibles a la humedad, debido a ello una humedad relativa de entre el 40-50% es óptima tanto para la salud como para la comodidad del ser humano, queriendo relacionar el párrafo con la humedad para el sistema de incubación.

La Humedad relativa en el proceso de incubación que debe ser controlada para que el embrión logre tener un desarrollo adecuado esta entre el 50% y 66%, este parámetro es de vital importancia ya que tiene gran influencia en el proceso ya que permite que el embrión no se adhiera a la cáscara del huevo.

Se dice que tiene injerencia en la absorción del oxígeno, pues si la humedad es muy alta, el embrión no se oxigena lo suficiente, lo que produciría asfixia, o bien intoxicación al no poder eliminar el dióxido de carbono (Vaca Adam, 1991).

Al contrario si la humedad es demasiada baja nacerán pollitos débiles que tendrán problemas de alta mortalidad durante la primera semana, o habrá pollos muertos dentro del cascarón.

Factor importante a tener en cuenta es que durante el proceso de incubación el huevo evapora agua y la pierde constantemente algo que es imposible de evitar, por lo cual la humedad que se establezca es con la finalidad de disminuir la evaporación de agua de los huevos.

Por lo tanto se definen los siguientes parámetros con los datos relativos Tabla 5 para el proceso de incubación dividiéndolos en dos etapas la primera en los primeros 18 días y finalmente en los 3 últimos días como muestra la tabla.

**Tabla 5.**  
**Etapas de incubación acorde a la humedad relativa**

<b>Factor F</b>	<b>1 Etapa de incubación (primeros 18 días)</b>	<b>2 Etapa de incubación (últimos 3 días)</b>
<b>Perdida diaria de agua (%)</b>	0.5-0.6%	0.7-0.8%
<b>Humedad Relativa necesaria (%)</b>	50-56%	60-66%

Fuente: (Roque, 2005)

### 2.3.6.3 Ventilación

El embrión depende del oxígeno del aire que lo rodea dentro de la incubadora, un aire que debe contener entre un 21% y 22% de oxígeno, y no más de 0.5% de dióxido de carbono  $CO_2$ . Para poder lograr una buena circulación de aire el sistema debe poseer una ventilación que no afecte en lo posible la temperatura y humedad.

Al momento del proceso de incubación el huevo absorbe oxígeno y elimina anhídrido carbónico en mayor porcentaje, por lo tanto un buen sistema de ventilación es necesario para excluir el agua que produce el huevo por transpiración, poder recircular el oxígeno es de vital importancia para la respiración del embrión ya que elimina el  $CO_2$ .

Como dato importante se debe mantener en perfecto estado la ventilación para que no tengan variaciones de más del 5% en sus revoluciones (RPM) limpiándolos mínimo cada 3 meses para un correcto funcionamiento, además de mantener limpios y desinfectados los ductos por donde circula el aire.

El dióxido de carbono  $CO_2$  cuando pasa de un 0.5% provoca anomalías, lentitud desarrollo y debilidad del embrión (Vaca Adam, 1991).

### 2.3.6.4 Sistema de Volteo

El sistema de volteo permite al embrión del huevo que no se pegue a las membranas internas de la cáscara, lo que puede desencadenar en la muerte del mismo.

Por lo tanto el sistema de volteo debe funcionar en dos etapas como se muestra en la siguiente Tabla 6. teniendo en cuenta que la frecuencia de volteo durante los primeros 18 días debe variar entre 2 y 3 horas para evitar que la yema o embrión se pegue a las membranas internas del huevo.

**Tabla 6.**  
**Distribución del sistema de volteo por días**

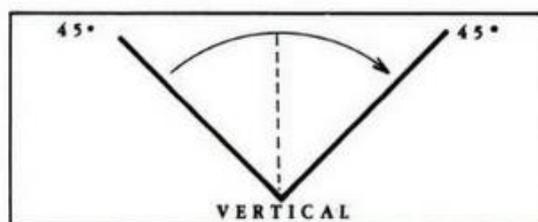
Factor Físico	1 Etapa de incubación (primeros 18 días)	2 Etapa de incubación (últimos 3 días)
Sistema de volteo	2-3 horas diarias	Apagado

La frecuencia de volteo es muy importante durante la primera semana de incubación, e ira disminuyendo con el pasar de los días hasta llegar al día 18, cuando paulatinamente se ira deteniendo el movimiento para dejar que los huevos finalmente eclosionen.

Los huevos deben ser colocados en la incubadora con el polo o punta más ancha arriba, ya que puede desencadenar en que los huevos no eclosionen, debido a que la cámara de aire está ubicada en el polo ancho y es hacia ahí donde se dirige la cabeza del embrión en desarrollo, si el huevo está mal colocado, la cámara de aire se desplaza, lo que provocaría problemas al embrión y reduce las posibilidades de nacer normalmente.

En las guías de incubación se detalla porque la importancia del volteo debido a que Tiras de albumina, enredadas entre sí, se extienden desde la yema, entre la clara y hasta los dos extremos del huevo. Estas tiras, llamadas chalaza, ayudan a mantener la yema en el centro del huevo (Roque, 2005).

Finalmente la incubadora debe estar programada para girar en un ángulo total de 90° grados o más como nos ilustra la figura 11.



**Figura 11: Ángulo de volteo**

Fuente: (Vaca Adam, 1991)

### 2.3.7 Factores que impiden el desarrollo del embrión

## **2.4 Tipos de Sistemas de Incubación**

En el mercado existen dos tipos de incubadoras de huevos cómo se las menciona a continuación:

### **2.4.1 Horizontales**

Fueron las primeras incubadoras en utilizarse, son de pequeña capacidad ya que varían entre 50 y 500 huevos, estos son colocados en forma horizontal. A nivel industrial ya no se utilizan, su sistema de ventilación es estática, esto quiere decir que se produce el calentamiento del aire que por inercia tiende a subir y a salirse cuando el sistema se enfría, por lo tanto no existe una ventilación forzada que permita la circulación uniforme del calor dentro de la incubadora.

La humedad se proporciona colocando solo bandejas con agua, y la temperatura se toma a unos 5 cm del huevo, se coloca el bulbo y se mide la temperatura más alta que es de 37.8 °C, los sistemas de volteo son de manera manual.

### **2.4.2 Verticales**

Este tipo de incubadoras lo usan la gran mayoría de incubadoras actuales, ocupan poco espacio y tienen una gran capacidad, que pueden variar entre 10.000 a 300.000 huevos, son armarios de aproximadamente entre 4 x 4 m. Internamente están constituidos por un sistema de varias bandejas unidas por varillas dentadas, son sistemas con los parámetros controlados y ya no de forma manual a diferencia de los sistemas horizontales.

### **2.4.3 De circulación Interna**

Son sistemas de incubación que se utilizan en las grandes industrias ya que son espacios recubiertos con material aislante en el cual las personas

pueden caminar dentro de una habitación con los parámetros requeridos de incubación, su principal inconveniente es que son cuartos fijos de planta y no pueden ser trasladados a ningún lado.

## **2.5 Incubadoras en el mercado**

En el mercado de las incubadoras se pueden encontrar un sin número de modelos y características técnicas desde las más económicas hasta las más sofisticadas, por lo cual en este documento se van a detallar algunos modelos de la empresa “Masalles” que son fabricantes de nacedoras e incubadoras de todo tipo de aves, eso sí, todas se basan en el mismo principio de funcionamiento.

### **2.5.1 Incubadora Modelo 16**

Este modelo de incubadora figura 12 es un sistema pequeño con regulación electrónica y funcionamiento a 230 V con un consumo de potencia de 40W, con frecuencia de operación de 50 y 60 Hz, presenta un volteo manual, su estructura es construida en plástico rígido de gran solidez, presenta un peso de 3Kg y sus dimensiones son 37x37x30cms.

Su capacidad es para 12 huevos de gallina y se encuentra con un precio en el mercado internacional de 60 euros.



**Figura 12: Incubadora Modelo 16**

Fuente:(MASALLES, 2017)

### **2.5.2 Incubadora Modelo 16 Digital**

Este tipo de incubadora figura 13 presenta un termostato electrónico regulable digital de precisión, con un voltaje de alimentación de 230V y un consumo de 80W opera a una frecuencia de 50 y 60 Hz, posee un motor para un volteo automático, es de ventilación estática, regulación de temperatura electrónica, posee un sistema de avisador de relleno de agua cada 2 días, peso del sistema es de 3Kg con dimensiones de 37x37x30cm.

Posee una capacidad para 12 huevos de gallina y un precio en el mercado internacional de 118 euros.



**Figura 13: Incubadora Modelo 16 Digital**

Fuente: (MASALLES, 2017)

### **2.5.3 Incubadora Modelo 870HS-SINF**

Este tipo de incubadora figura 14 es un modelo ya industrial para los medianos y grandes productores avícolas es un mueble de poliéster funcionamiento a 230 v con frecuencia de operación de 50 y 60 Hz, presenta un consumo máximo de 170w, control electrónico de temperatura y humedad digital programable con sistema proporcional “auto tuning”.

Presenta ya todos los sistemas automáticos como lo son el volteo, temperatura, humedad ventilación forzada, luz interior, las dimensiones de la máquina son 110x120x105 cm con un peso de 95 Kg y una capacidad para 870 huevos de gallina y su precio en el mercado europeo es de 4.270 euros.



**Figura 14: Incubadora Modelo 870HS-SINF**

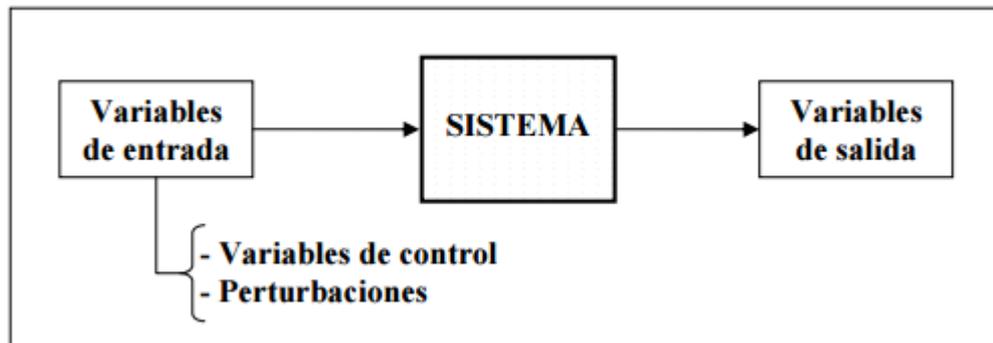
Fuente: (MASALLES, 2017)

## 2.6 Sistema de control Automático

Para hablar de un sistema de control automático primeramente se debe saber que un sistema de control puede contener varios elementos, para poder mostrar las funciones de cada componente en la ingeniería de control, por lo general se usa la representación mediante diagramas de bloques (Ogata, 2010).

Un sistema de control tiene como principio la realimentación o feedback que no es más que la medición tomada del proceso a través de un sensor para poder controlar una determinada variable y tomar las respectivas acciones correctivas.

Por lo tanto se puede definir al control automático como la capacidad de lograr mantener un valor deseado mediante una condición física, monitoreando el valor actual para emplear su diferencia y así proceder a corregirla mediante una acción de control. La figura 15 ilustra de un modo conceptual el funcionamiento de un sistema.



**Figura 15: Esquema General de un sistema**

Fuente: (Universidad Politécnica de Cataluña, 2004)

### 2.6.1 Tipos de Sistemas de Control

Se pueden definir dos sistemas de control los cuales se detallan a continuación:

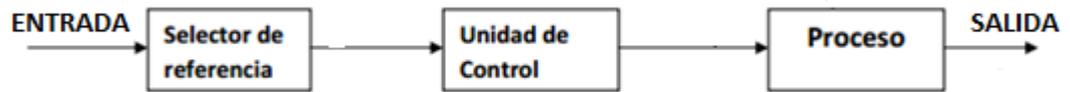
- **De lazo (o Bucle) abierto**

Son aquellos que su variable controlada o de salida no tiene ningún efecto sobre la acción de control o variable de control.

A continuación se representa el sistema en diagramas de bloques el sistema figura 16:

Fuente: (Uriarte Onoro, 2011)

**Figura 16: Diagrama de Bloques en Lazo Abierto**



A continuación se detallan las ventajas y desventajas que presenta el sistema propuesto:

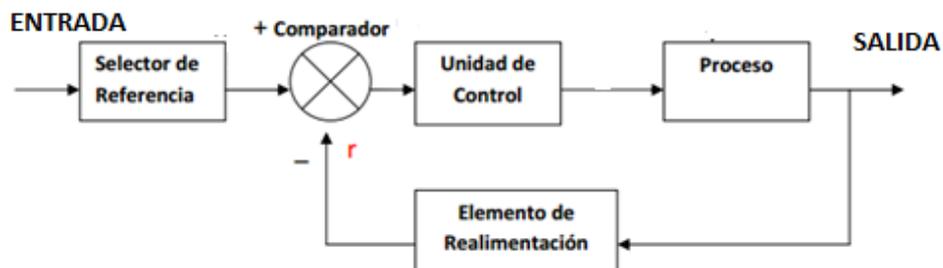
- **Ventajas:** Diseño de control básico.
- **Desventajas:** No cumplen con su función adecuadamente ante perturbaciones.

- **De lazo (o bucle) Cerrado**

Para poder comprender el lazo cerrado de control primero se debe definir el concepto de retroalimentación:

**Realimentación:** La realimentación no es más que comparar la salida del sistema con una entrada de referencia, de modo que se establezcan una relación entre ambas.

Por lo tanto un lazo de control cerrado son aquellos en los que la señal de salida del sistema afecta de manera directa sobre la variable de control.



**Figura 17: Diagrama de Bloques en lazo cerrado**

Fuente: (Uriarte Onoro, 2011)

El lazo de control cerrado presenta las siguientes ventajas y desventajas.

➤ **Ventajas:**

- Mejor respuesta ante perturbaciones
- Una mayor precisión en las respuestas

➤ **Desventajas**

- Presentan una mayor dificultad en su diseño
- La utilización de muchos elementos

## 2.6.2 Estrategia de control

En controles industriales es muy común encontrar los siguientes tipos de reguladores:

- Dos Posiciones (ON-OFF).
- Proporcional (P).
- Proporcional-Integral (PI).
- Proporcional Derivativo (PD).
- Proporcional Integral Derivativo (PID).

### 2.6.2.1 Control ON\_OFF

También conocido como control Todo o Nada es una regulación simple y económica, utilizada en su mayoría cuando se dispone de una tolerancia de error grande.

**Características:**

- Poseen un simple mecanismo de construcción.
- Bajo precio de elaboración.
- Señal de control con vibraciones si se requiere precisión.

### 2.6.2.2 Control Proporcional

Es cuando la señal de control es proporcional al error, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde  $K_p$  es la ganancia proporcional.

#### Características:

- A mayor ganancia,  $k_p$  mayor actuación ante el mismo error.
- El sistema evoluciona más rápido, pero con mayor sobre oscilación.
- No anula los errores en régimen permanente.

### 2.6.2.3 Control Proporcional Integral

Es cuando el valor de salida del controlador proporcional varía en razón proporcional al tiempo en que ha permanecido el error y la magnitud del mismo, su función de transferencia es:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot S} \right)$$

Donde:

$K_p$ : es la ganancia proporcional

$T_i$ : Se denomina al tiempo de acción integral, ambos son valores que pueden ser ajustables.

#### Características:

- El tiempo integral regula la velocidad de acción de control

- Una modificación en la ganancia proporcional afecta tanto a la parte integral como a la parte proporcional de la acción de control.

#### 2.6.2.4 Control Proporcional Derivativo

Esta estrategia de control se da cuando la señal de control es proporcional al error y a su derivada. Es decir el control derivativo mide la pendiente instantánea de  $e(t)$ , prediciendo que tan grande será el sobre impulso aplicando las correcciones apropiadas antes de que se presente ese sobre impulso (Universidad Don Bosco, 2013). La función de transferencia es la siguiente:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p(1 + T_d \cdot s)$$

Donde  $T_d$  se denomina duración predicha.

##### Características:

- El tiempo derivativo da la idea del tiempo de predicción del error en la respuesta transitoria.
- Disminuye la sobre oscilación por el efecto anticipativo de la acción derivativa.

#### 2.6.2.5 Control Proporcional Integral Derivativo

Como su nombre lo indica es una combinación de todas las estrategias de control mencionadas, y entre sus ventajas se presenta que elimina el corrimiento u offset que no puede corregir el control proporcional solo en otras palabras elimina el error en estado estacionario, aunque no todo es bueno en esta estrategia de control ya que puede llevar a una respuesta oscilatoria (tiende a desestabilizar) el sistema, su función de transferencia es la siguiente:

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right)$$

## **2.6.3 Autómatas Programables**

### **2.6.3.1 Controlador Lógico Programable**

Los controladores lógicos programables (PLCs) son aparatos electrónicos digitales que usan una memoria programable para almacenar internamente las instrucciones o para implementar funciones específicas como pueden ser lógicas de secuencia, sincronización, conteo y operaciones aritméticas para controlar a través ya sea de salidas digitales o analógicas diversos procesos, es un dispositivo que ayuda a eliminar tableros de control con relevadores, y como se pueden reprogramar usan menos espacio.

En la industria actualmente existen varias marcas y modelos de PLC ya sean estos de gama baja, media y una alta gama, con variación de los precios de acuerdo a sus características y uso para un debido proceso.

Para ilustrar se ha tomado la marca Siemens figura 18, que presentan PLC's y distintos módulos de todas las gamas (alta, media o baja), ya que dicha marca posee una alta prestación de confiabilidad y de calidad en el mercado, pero su costo es elevado.



**Figura 18: Modelos de Controladores Lógicos Programables marca Siemens**

Fuente: (SIEMENS, 2017)

Se menciona que los controladores lógicos programables se usan cada vez menos en las instalaciones nuevas, debido al progreso en las máquinas de control numérico, pero siguen representando una base muy grande de instalaciones. Hoy en día existe una tendencia creciente hacia el uso de microcomputadoras en lugar de controladores lógicos programables, porque estas son menos costosas (kalpakjian & Schmids, 2002).

### **2.6.3.2 Termostatos**

Se conoce al dispositivo capaz de controlar y manejar los grados de temperatura que sean requeridos para una determinada tarea, ambiente o sistema.

Es decir puede ser una pieza fundamental para un proceso de incubación debido a que puede controlar temperaturas con un alto grado de precisión, sin contar que dispositivos modernos cuentan con salidas de control de lazo PID.

Principalmente un termostato puede ser electromecánico o digital, si se habla del primer caso es imprescindible colocar un termómetro en la caja para verificar que la temperatura se mantiene estable, para el segundo caso, el termostato cuenta con una sonda y un sensor que indicará la temperatura alcanzada, la cual se programa para que se encienda o apague una salida.



**Figura 19: Termostato electromecánico (Izquierda), Termostato Digital (Derecha)**

Fuente: (UNAM, 2013)

### **2.6.3.3 Reguladores de Humedad**

Los reguladores de humedad son unidades que regulan la humedad relativa del aire. Se encargan de proporcionar la humedad del aire apropiada para diferentes aplicaciones.

Existen varios modelos de reguladores de Humedad que son de construcción compacta y sencilla como nos indica la figura 20.



**Figura 20: Reguladores de Humedad de la marca PCE**

#### **2.6.4 Dispositivos de Maniobra y Control**

Los dispositivos o elementos de mando y maniobra son componentes que permiten abrir o cerrar un circuito eléctrico, esto permite al operario realizar distintas acciones para controlar las máquinas eléctricas.

Actualmente hay una gran diversidad de dispositivos de mando como son los siguientes:

- Interruptores
- Pulsadores
- Conmutadores
- Finales de carrera
- Relés

##### **2.6.4.1 Elementos de mando manuales**

Son elementos en los cuales el operario acciona manualmente un proceso de automatismo eléctrico. Se emplean para conectar, desconectar y gobernar cualquier máquina o sistema.

A continuación se detalla una pequeña clasificación de los elementos como se ilustra en la figura 21.



**Figura 21: Elementos de mando manual**

#### **2.6.4.2 Elementos de mando automáticos**

Son aquellos que permiten la conexión y desconexión de un sistema de forma automática es decir sin la intervención de un operario.

Una característica fundamental que deben cumplir estos elementos es que deben ser fiables y seguros ya que generalmente no están siendo supervisados por algún operario.

Las características principales que deben cumplir los elementos de maniobra son:

- **Capacidad de maniobra:** El número mínimo de maniobras que se pueden realizar.

- **Poder de corte:** Es la corriente máxima que soporta sin dañar los contactos.

### 2.6.5 Elementos de Protección

Toda instalación eléctrica que se desee realizar debe disponer de diversos elementos de seguridad para disminuir el riesgo de accidentes, como los causados por los cortocircuitos, sobrecargas o contacto de personas o animales con los distintos elementos que trabajen con corriente eléctrica.

En el mercado existen una gran variedad de protecciones como se muestra en la siguiente tabla 7: que se ha realizado una clasificación de las mismas.

**Tabla 7.**  
**Elementos de Protección**

Protección	Elemento
<b>Cortocircuito</b>	Fusible Interruptor automático electromagnético
<b>Sobrecarga</b>	Relé Térmico Interruptor automático magneto térmico
<b>Retorno de corriente</b>	Relé anti retorno de corriente
<b>Sobretensión</b>	Limitador de sobretensión Relé de máxima tensión
<b>Derivación</b>	Interruptor diferencial

### 2.6.6 Sensores

Para que un sistema electrónico de control pueda controlar algún proceso o producto es necesario que reciba información de las distintas variables físicas que en su gran mayoría no son eléctricas sino que pueden ser: temperatura, presión, nivel, fuerza, posición, velocidad, etc.

A los dispositivos que realizan esta función se los denomina sensor, por lo tanto se dice que es el dispositivo que tiene algún parámetro que es función del valor de una determinada variable física del medio en el cual está situado.

#### **2.6.6.1 Sensor de Temperatura**

Los sensores de temperatura son dispositivos que pueden transformar los cambios de temperatura en cambios o señales eléctricas que se procesan a través de equipos electrónicos, existen gran cantidad de sensores para medir temperatura de acuerdo a la aplicación a usarse como lo son termistores, RTD, termopares y sensores digitales

#### **2.6.6.2 Sensor de Humedad**

Son sensores que nos permiten medir el grado de humedad relativa en % en el ambiente, en el mercado se pueden encontrar de diversas gamas y características técnicas acorde a la aplicación que se requiera, el sensor que se pondrá de ejemplo es el DHT21 figura 22, que nos presenta una medición con una precisión en la medida de 3% RH.

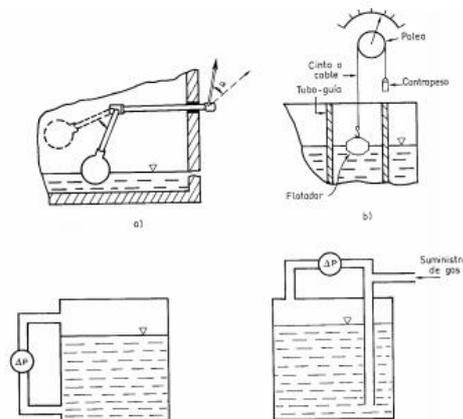


**Figura 22: Sensor de humedad DHT21**

### 2.6.6.3 Sensor de Nivel

La mayoría de los dispositivos que controlan nivel, se basan en un flotador que se conectan de diversas formas, la figura 23 muestra 4 tipos de sensores de nivel, como se puede visualizar existen variedad de usos depende la aplicación que se le quiera dar.

Los sensores de flotador permiten recibir datos hacia el controlador de NC o NA para poder saber si el nivel se encuentra alto o bajo.



**Figura 23: Sensores de nivel**

### 2.6.7 Señalización

Los elementos de señalización figura 24, se utilizan para indicar algún estado que se encuentre la máquina a las personas que estén operando el sistema mediante señales luminosas a través de luces piloto ya sea los colores estándar rojo o verde que en el caso de la incubadora la luz piloto de color verde servirá para indicar el estado de funcionamiento del sistema mientras que la luz piloto de color rojo indicará a la máquina el estado de alguna alarma o fallo en el sistema.



**Figura 24: Luces piloto para maquinaria industrial**

## CAPÍTULO III

### 3 INGENIERÍA BÁSICA

En el diseño de la ingeniería Básica del proyecto se definirán todos los requerimientos del usuario, así como las especificaciones básicas, un análisis de necesidades, revisión del área física requerida, revisión de normas, cálculos preliminares y todos los criterios preliminares para realizar el diseño básico del sistema, aplicando los conocimientos adquiridos con la finalidad de lograr el objetivo planteado.

#### 3.1 Requerimientos del sistema de incubación

El sistema de control automático para una incubadora de huevos de aves será diseñado e implementado con la finalidad de satisfacer las necesidades de la unidad Productiva agropecuaria Majavi y los propios de un sistema de incubación, como se detalla a continuación:

- Control de temperatura con un lazo cerrado de control que permita mantener al sistema en los rangos de temperatura de 36 °C y 37.8°C.
- Control de humedad que permita mantener al sistema en los rangos de humedad de 50% y 66%.
- Sistema de control e instrumentación basado en un controlador acorde a las temperaturas establecidas.
- Para la supervisión y monitoreo del proceso se requiere de un panel HMI que permita visualizar los parámetros de la incubación.
- Control de nivel para la humidificadora.
- Implementación de señalización luminosa necesaria.
- Sistema de Volteo.
- Capacidad de incubación.

- La unidad Productiva Agropecuaria Majavi proporcionará la parte mecánica con su respectiva documentación de planos y cálculos que permitan a partir de los mismos dimensionar los componentes eléctricos y electrónicos del sistema.

En vista de lo planteado se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- **Seguridad**

El sistema de incubación debe avalar la seguridad para el operario y en caso de un mantenimiento preventivo, se deberá implementar normas de seguridad industriales al momento de instalar los distintos implementos de control, dimensionar elementos de protección para así poder salvaguardar la vida del operario del sistema.

- **Tensión y frecuencia del suministro energético**

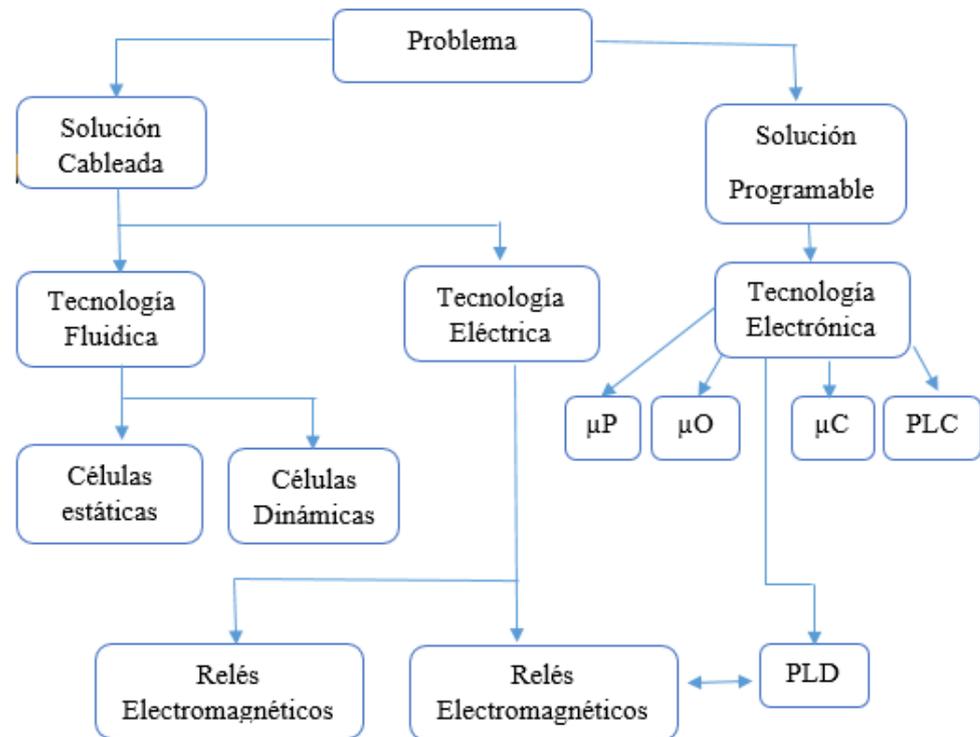
Este aspecto se vuelve uno de los más importantes, ya que la finca cuenta con un sistema monofásico de 110 VAC a 60 Hz.

### **3.2 Tecnologías Aplicables**

En el mercado existen distintas tecnologías que se pueden utilizar como lo es la lógica cableada o la programada, la cual utiliza elementos eléctricos, electrónicos, neumáticos, etc.

Todos con la finalidad de satisfacer una serie de objetivos comunes a cualquier proceso automático, por lo tanto el automatismo se podrá implantar en mayor o menor cuantía, lo que llevará a considerar los diferentes niveles

de automatización figura 25, disponibles para producir en la industria elementos de calidad para el entorno competitivo en que nos desarrollamos.



**Figura 25: Posibilidades para resolver una aplicación automatizada**

### 3.3 Criterios de diseño del Circuito de Control

El proceso térmico para el sistema de incubación requiere de varios sistemas de control como lo son temperatura, control de humedad, control para el volteo de los huevos, tiempo de incubación y un control de nivel, todo con la finalidad de obtener el ambiente adecuado en el sistema.

Por lo tanto se detallará el sistema de control acorde a la necesidad planteada, teniendo en cuenta los criterios de diseño que se deben cumplir.

### 3.3.1 Control de Temperatura

Para el diseño del sistema de control de temperatura se tomó en consideración los parámetros a controlar, quedando establecido el sistema de control de lazo cerrado con realimentación, debido a que el sistema debe estar permanentemente monitoreado a través de un sensor para asegurar que se mantenga la temperatura deseada.

#### Criterios de diseño

El control de temperatura en el sistema de incubación es muy delicado, por lo cual necesita de una precisión y exactitud en el mismo. Los criterios que se han tomado en cuenta para la selección de la estrategia de control idónea son:

- Rangos de temperatura a alcanzar entre 36°C y 37.8°C
- Tiempo de respuesta ante una perturbación
- Tiempo de estabilización
- Error en estado estacionario

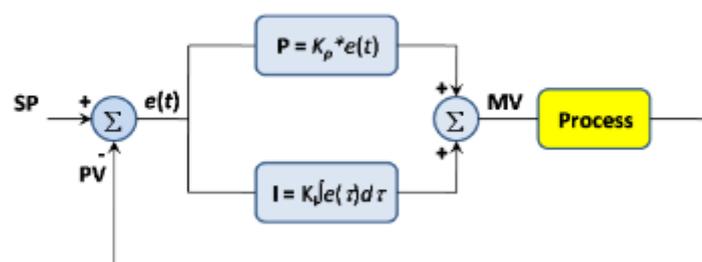
Por lo antes mencionado se ha elegido un control PI y a continuación se detallará porque la selección de esta técnica de control con respecto a las otras.

- **Acción Proporcional:** Si solo se escogiere la acción proporcional el sistema tendría una mayor oscilación en su respuesta.
- **Acción Integral:** El tiempo integral regula la velocidad de acción de control, reduce el error estacionario a cero.

Por lo tanto en la figura 26 se presenta la técnica de control establecida, donde se basa en las ventajas de los controladores proporcional y la parte integral de manera que si la señal de error varía lentamente en el tiempo, predomina la acción proporcional e integral para lograr una respuesta más rápida y tratará de anular totalmente el error en estado estacionario.

El controlador PI para su correcto funcionamiento necesita al menos de los siguientes elementos:

- Un sensor que permita determinar el estado del sistema tanto de temperatura como de humedad.
- Un controlador que permita generar la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador que modifique el sistema de una manera controlada.



**Figura 26: Sistema de control en lazo cerrado con control PI**

Fuente: (Yepes Valencia & Marlon Andrey, 2016)

### Modelado de la planta

Para realizar el modelado de la planta es necesario desarrollar un control de fase de la resistencia calorífica para poder controlar su tiempo de prendido a un 30% de su alimentación nominal y poder obtener el modelo matemático del sistema mediante la identificación de la planta (Respuesta de la función de transferencia del sistema a partir de su respuesta real al escalón).

### 3.3.2 Control de Humedad

En el control de humedad para la incubadora, se puede decir que es un parámetro a controlar que también tiene su grado de precisión, como el control de temperatura, ya que el embrión también depende de una buena humedad relativa que se presente en el ambiente para poder desarrollarse.

## Criterios de Diseño

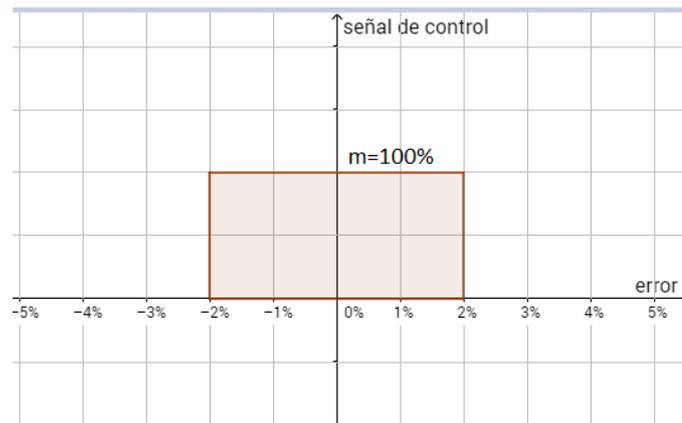
Para la selección del tipo de control a utilizarse en esta etapa del proceso se ha planteado las siguientes características:

- Sistema de control en lazo cerrado
- Rangos de Humedad relativa entre el 50% y 66%
- Tiempo de respuesta
- Histéresis

En vista de lo planteado se ha seleccionado un controlador tipo **ON-OFF** con histéresis figura 27 o control de dos posiciones, ya que es un control que presenta un mayor rango de error, pero dicha acción de control cumple con los requerimientos establecidos. Además de que esta lógica de control tiene un simple mecanismo de construcción, por esta razón son de los más usados en los sistemas de regulación que presenten una tolerancia de error que no requiere de mayor precisión.

La histéresis está definida como la diferencia entre los tiempos de apagado y encendido del controlador y se la utilizará básicamente para evitar un número excesivo de conmutaciones que pueden dañar los contactos de salida del PLC más fácilmente.

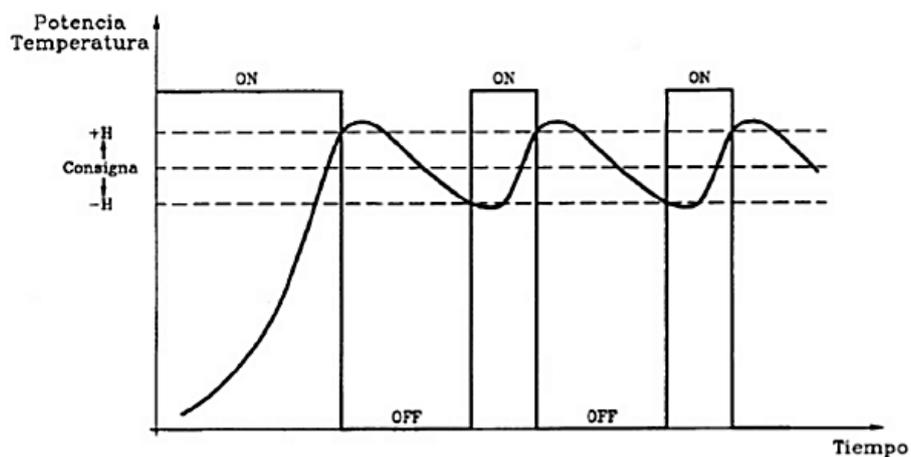
Por lo tanto se define los valores umbrales en la figura 27 de una manera experimental en base a lo que se pide para el problema, ya que en una etapa de incubación se debe mantener los valores de humedad dentro de los rangos del 51% al 55% para la primera etapa de incubación y valores entre 61% y 65% para la segunda etapa, por lo tanto los valores umbrales son de +2% y -2% y la señal de control  $m=100\%$  que es la señal de control de 24 VDC.



**Figura 27: Señal de control On-Off con umbrales de histéresis**

### 3.3.3 Control de Volteo

El sistema de control para el volteo de los huevos se lo realizará con un sistema de temporización cada 2 horas debido a que las cubetas deben girar en un ángulo como se referenciaba en la figura 11.



**Figura 28: Control On-Off con Histéresis**

Fuente:(Toapanta Soto, 2012)

## **Criterios de Diseño**

Para la selección del tipo de control a realizarse en esta etapa del proceso se ha planteado cumplir con las siguientes características:

- Sistema de control en lazo abierto
- Angulo de Giro
- Tiempo de respuesta

Básicamente para el control del motor es suficiente con un control ON-OFF, ya que se activaran las bobinas dependiendo del ángulo a girar.

### **3.3.4 Control de Nivel**

El sistema debe poseer un sistema que permita controlar el nivel del agua para el humidificador, se lo realizará de una manera sencilla a través de un sensor de nivel que permita al usuario verificar si se necesita insertar agua o no para mantener un nivel adecuado del líquido.

### **3.3.5 Grafcet**

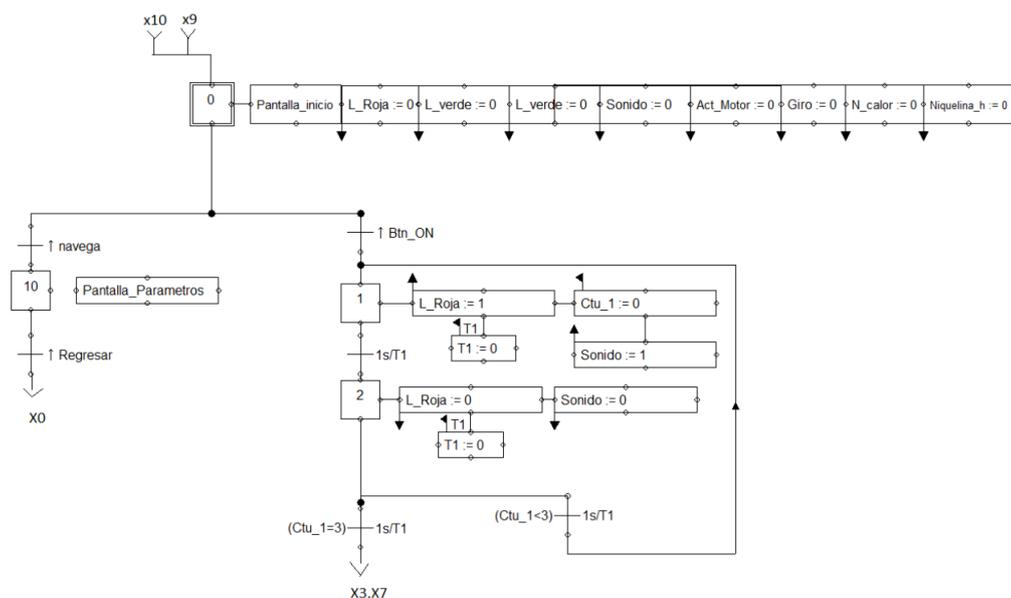
Para la realización de una programación que resulte eficaz, eficiente y óptima se debe tener en cuenta el proceso que debe realizar el sistema de incubación una vez activado, por lo tanto la implementación de un grafcet es de primordial importancia para tener una idea del funcionamiento del sistema.

El grafcet nivel dos elaborado resume como operará el sistema en sus dos etapas de incubación: en la figura 28 se presenta el reseteo del sistema al iniciar el proceso una vez se haya dado el pulso de inicio, en la figura 29 se indica la selección de las dos etapas de incubación antes de los 18 días y posterior a ellos, en la figura 30 la función de control PI para la temperatura, en la figura 31 la función que controla la humedad relativa, en la figura 32 la función indica el nivel de agua en la bandeja.

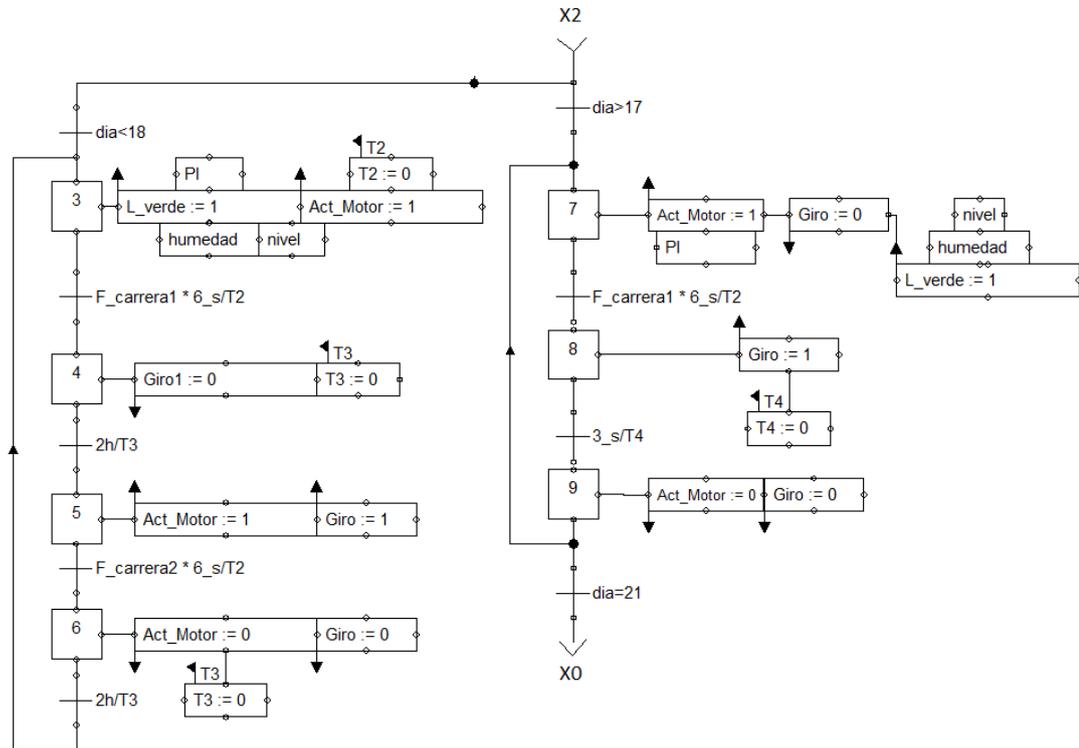
Por lo tanto a continuación se procede a exponer cada una de las figuras:

En la figura 29, se detalla el graficet nivel dos empleado para dar inicio al proceso una vez energizado el sistema se presentan dos opciones de selección dentro de la pantalla, la primera opción permite ingresar a la ventana de parámetros de incubación de ser necesaria si el sistema ya fue activado con anterioridad, de haber sufrido algún imprevisto como corte de la energía eléctrica el sistema permite la opción de reanudar el mismo, de no ser así se puede dar el pulso de inicio a un nuevo proceso para poder realizar las siguientes acciones:

- La luz roja y el zumbador titilan por tres ocasiones, para indicar que el sistema será reseteado por precaución ya que no se conoce cuál puede ser la ubicación actual de las bandejas.
- Una vez cumplido este aviso se procede a la siguiente etapa figura 30 donde el programa selecciona las acciones a realizar ya sean para la primera o segunda etapa de incubación todo depende del RTC interno del PLC activando las funciones de control de temperatura (PI), humedad, volteo y nivel del agua.

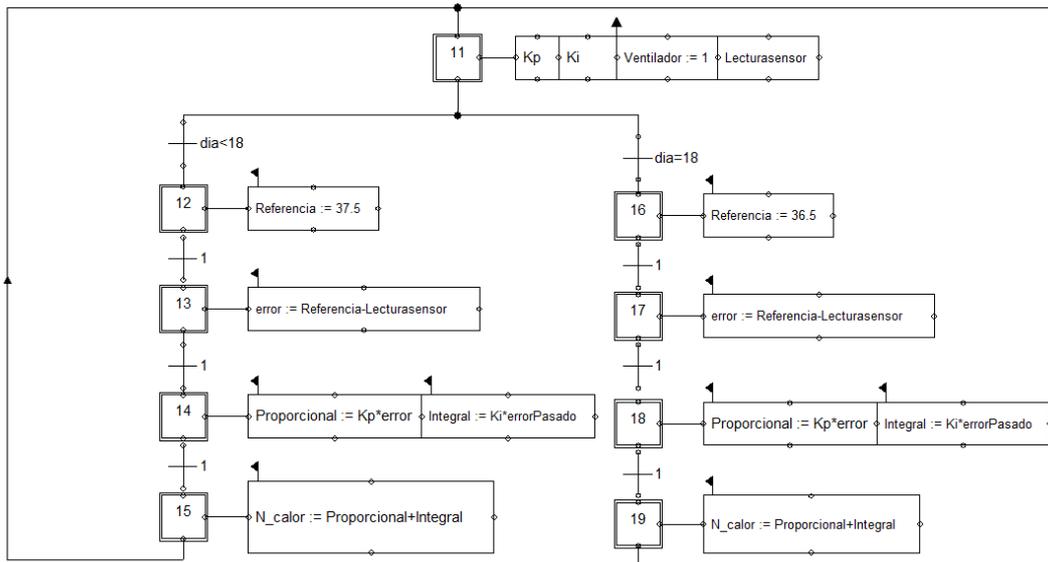


**Figura 29: Diagrama de graficet nivel dos reseteo del sistema**



**Figura 30: Diagrama de grafset nivel dos selección de la primera o segunda etapa de incubación**

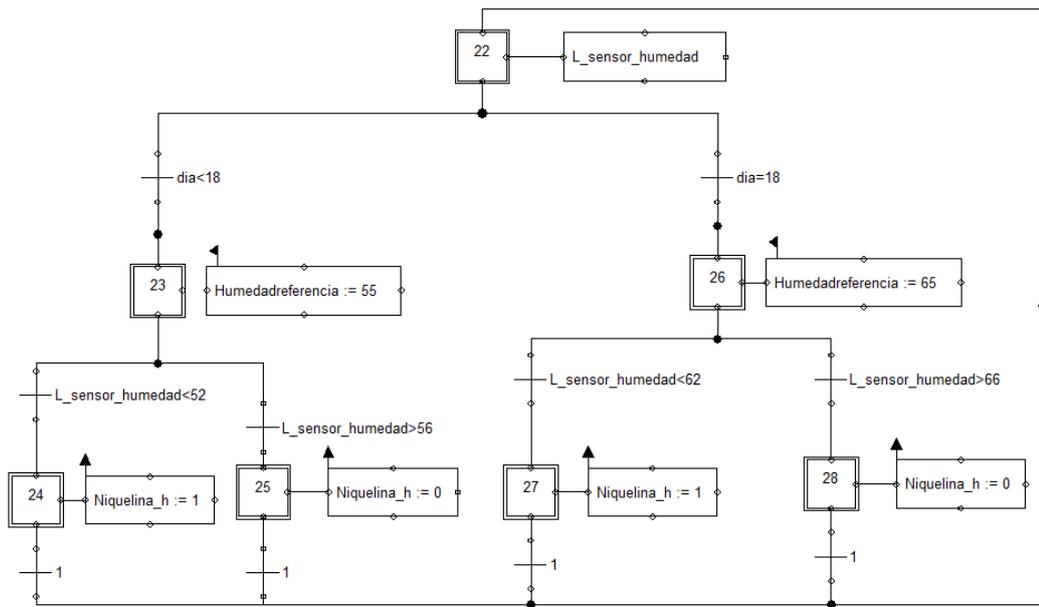
En la figura 31 se detalla el controlador PI que será implementado para lograr un control adecuado de la temperatura al interior del sistema, al momento de diseñar el controlador se obtendrá los valores de las constantes  $K_p$ ,  $K_i$ .



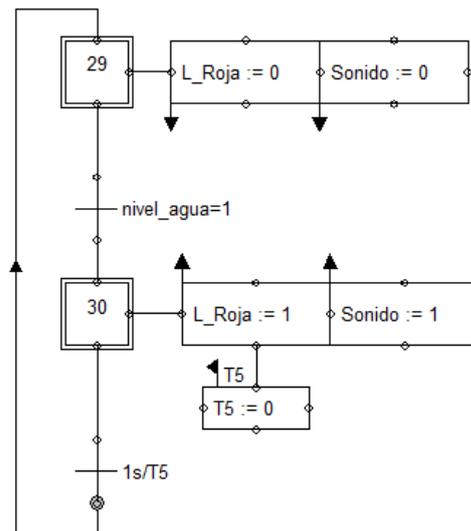
**Figura 31: Diagrama de grafcet nivel dos controlador PI de temperatura**

En la figura 32, se visualiza las funciones de humedad ya sea para la primera o segunda etapa en donde la principal diferencia son los valores de referencia de la humedad, ya que en la primera etapa la humedad debe mantenerse en un rango de 50-56% y para la segunda etapa del proceso esta debe aumentar a un 60-66%.

En la figura 33, el diagrama grafcet que se presenta permite identificar el nivel mínimo de agua en la bandeja, dicha función será llamada tanto en la primera como en la segunda etapa, se encenderá una luz roja al igual que una alarma sonora mediante el zumbador hasta el momento en que sea abastecida de agua nuevamente.



**Figura 32: Diagrama Grafset nivel dos funciones de control de la humedad relativa**



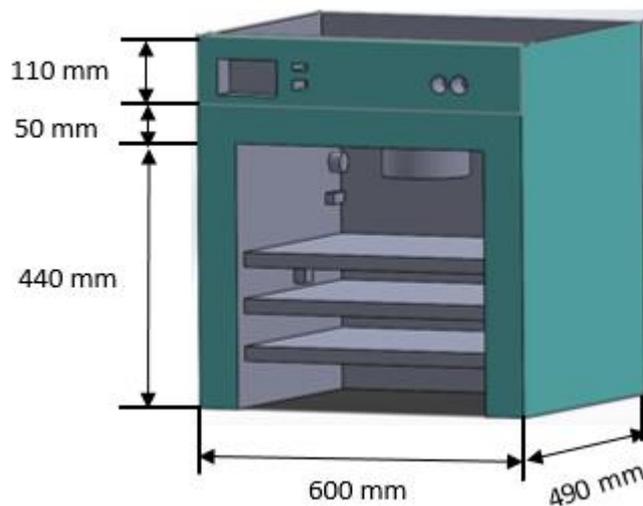
**Figura 33: Diagrama Grafset nivel dos función para monitorear nivel mínimo de agua**

### 3.4 Características Mecánicas del sistema

#### 3.4.1 Planos y medidas de la estructura

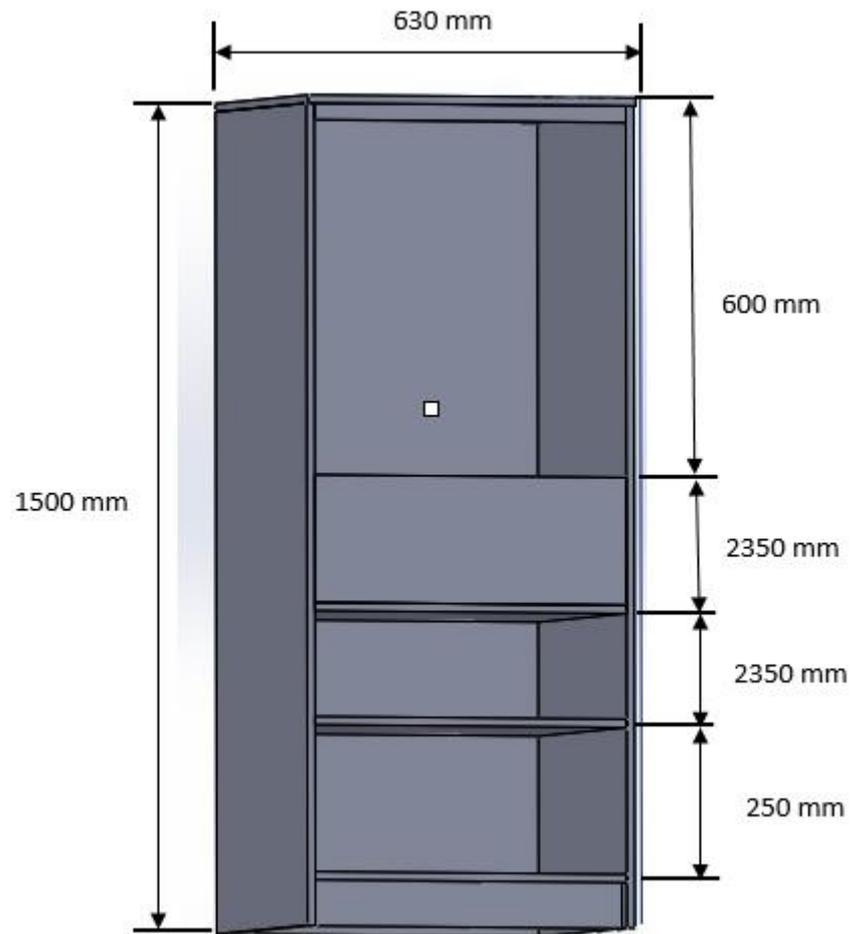
A continuación se detallará las medidas y dimensiones de la estructura física diseñada para el sistema de incubación:

En la figura 34 se puede visualizar la estructura del sistema que es implementado en un horno con aislante térmico interno de lana de vidrio sus dimensiones se las detalla a continuación, ítems más adelante se detallará la ubicación de cada uno de los elementos empleados.



**Figura 34: Estructura física del sistema de incubación**

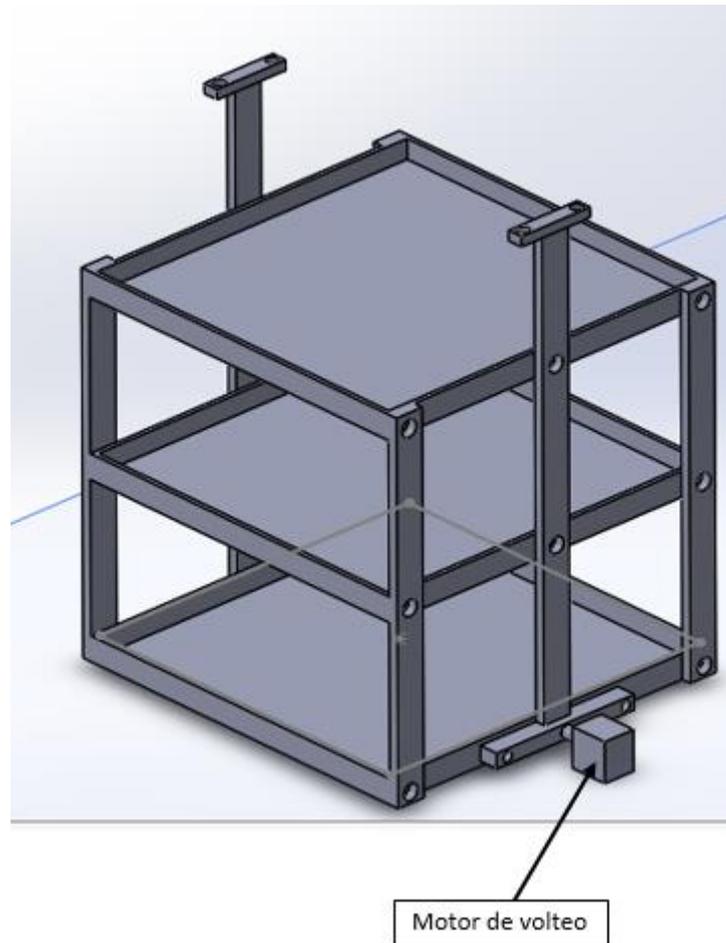
En la figura 34 se puede visualizar la estructura física de la repisa empleada para dar sostén al sistema de incubación, se lo ha diseñado con la finalidad de que el sistema tenga la altura adecuada (1.50 m) para que el usuario pueda visualizar fácilmente los parámetros de incubación.



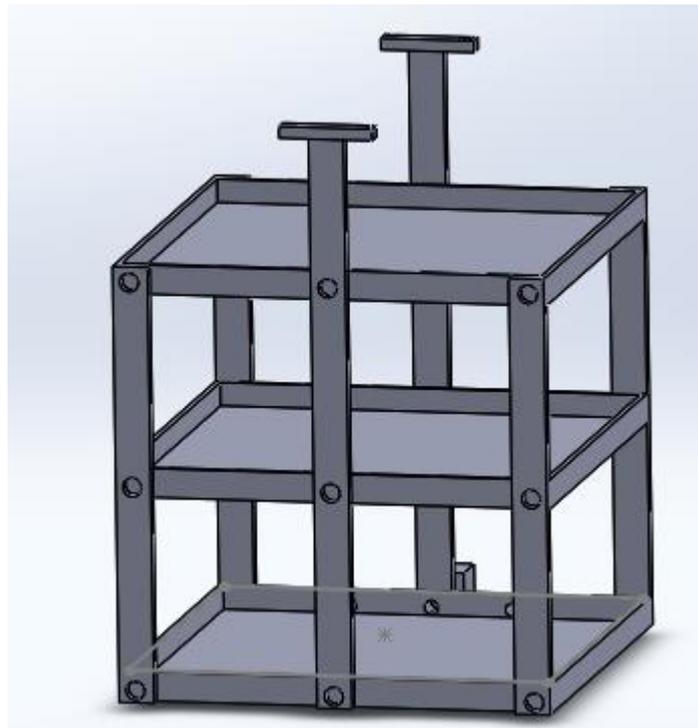
**Figura 35: Estructura física de la repisa que contendrá a la incubadora**

Por otro lado, la estructura interna que posee el sistema de incubación ha sido desarrollado con la finalidad de poder obtener un movimiento giratorio antes descrito de  $45^\circ$  a cada lado, por lo cual se la presenta en la figura 35 y en la figura 36, donde se puede visualizar como se encuentra diseñada para poder lograr dicho movimiento, a través de pasadores en cada una de sus esquinas logrando así obtener el movimiento deseado a través del motor.

Las dimensiones de las repisas son de 37 x 37 cm para que puedan ingresar las cubetas antes descritas.



**Figura 36: Vista isométrica del sistema de volteo de la incubadora.**



**Figura 37: Vista lateral del sistema de volteo de la incubadora**

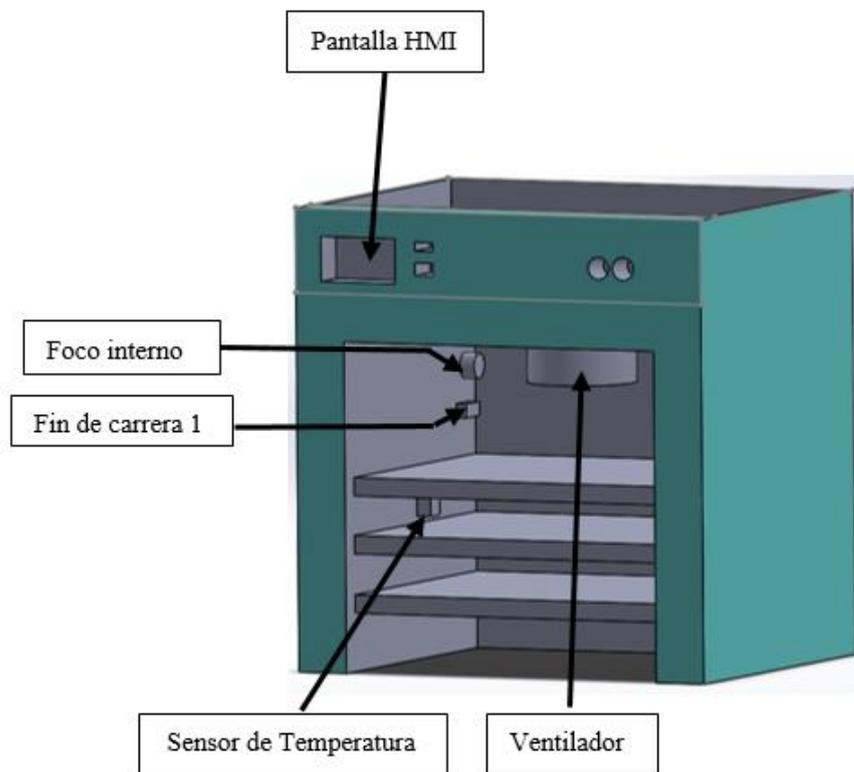
### 3.4.2 Ubicación de elementos

En esta sección del documento se planteará la ubicación de los elementos en el sistema de incubación desglosados desde la figura 37 hasta la figura 41, donde se podrá apreciar en diferentes vistas la ubicación de cada uno de ellos.

En la figura 37, se encuentran los siguientes elementos eléctricos y electrónicos:

- **Pantalla Nextion:** Permite la visualización de los parámetros de incubación.
- **Foco interno:** Permite dar iluminación interna a la incubadora para poder visualizar su proceso.
- **Fin de carrera 1:** Implementado para tener un sensor como tope al momento del volteo de las cubetas, permite desactivar la alimentación del motor al momento que llega a ser presionado, permitiendo así no pasarse del primer ángulo deseado para el volteo automático.

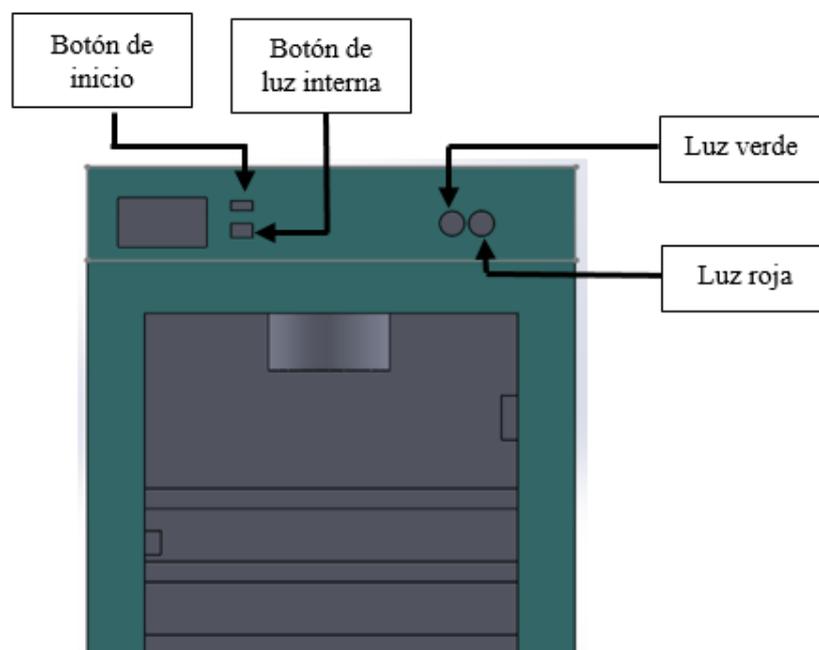
- **Sensor de Temperatura:** Permite monitorear la temperatura del sistema, ha sido implementado en una parte intermedia del sistema, para poder obtener un valor real de la temperatura, ya que el ventilador al estar encendido permite que la temperatura se distribuya uniformemente por todo el sistema.
- **Ventilador:** Ubicado en la parte superior del sistema de una forma inversa, dicho diseño se lo ha implementado para lograr una mayor distribución del calor dentro del sistema, ya que el flujo de aire al golpear en la parte superior distribuye el calor que esté generando la resistencia calorífica en ese instante.



**Figura 38: Ubicación de elementos eléctricos y electrónicos (Pantalla Nextion, Foco interno, Fin de carrera 1, Sensor de Temperatura, Ventilador)**

En la figura 38, se encuentran los siguientes elementos eléctricos y electrónicos:

- **Botón de inicio:** Permite energizar el sistema, para que se enciendan los elementos eléctricos y electrónicos.
- **Botón de luz interna:** Permite energizar la iluminación interna del sistema para poder visualizar el proceso de incubación:
- **Luz piloto verde:** Permite verificar si el sistema se encuentra funcionando normalmente.
- **Luz piloto roja:** Permite verificar si existe alguna anomalía o alarma en el sistema:



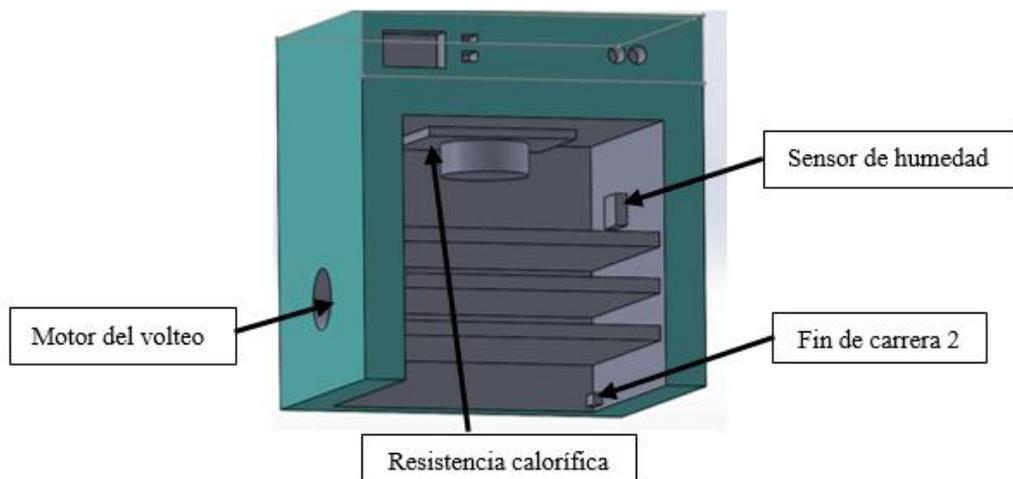
**Figura 39: Ubicación de elementos eléctricos y electrónicos (b. inicio, b. luz interna, luz piloto verde, luz piloto roja)**

En la figura 39, se encuentran los siguientes elementos eléctricos y electrónicos:

**Motor de volteo:** Ubicada en la parte inferior del sistema, permite dar el giro de las bandejas en ambos sentidos para lograr un movimiento de 90°.

**Resistencia calorífica:** Se encuentra ubicada en la parte superior alrededor del ventilador, para que sea distribuido su calor.

- **Fin de carrera 2:** Implementado para tener un sensor como segundo tope al momento del volteo de las cubetas, permite desactivar una fase del motor al momento que llega a ser presionado, permitiendo así no pasarse del segundo ángulo deseado para el volteo automático.
- **Sensor de humedad:** Ubicada en una parte central superior del sistema, permite censar la humedad relativa que genera el sistema.



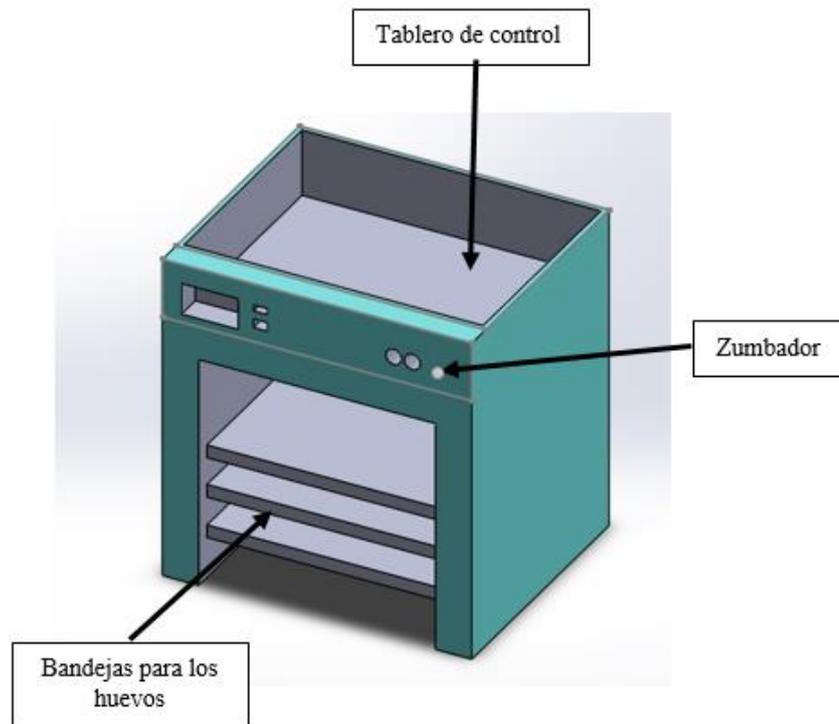
**Figura 40: Ubicación de elementos eléctricos y electrónicos utilizados (Motor de volteo, resistencia calorífica, Fin de carrera 2, Sensor de Humedad)**

En la figura 40, se encuentran los siguientes elementos eléctricos, electrónicos y accesorios:

**Bandejas para huevos:** Se encuentran ubicadas en 3 niveles dentro del sistema.

**Zumbador:** Ubicada en la parte superior, permite dar una alarma sonora en conjunto con la luz piloto roja en caso de alguna emergencia.

**Tablero de control:** En la parte superior del sistema, se encuentra todo lo que concierne al tablero de control para el sistema de incubación que es aislado de la temperatura ya que el sistema se encuentra aislado con lana de vidrio internamente.



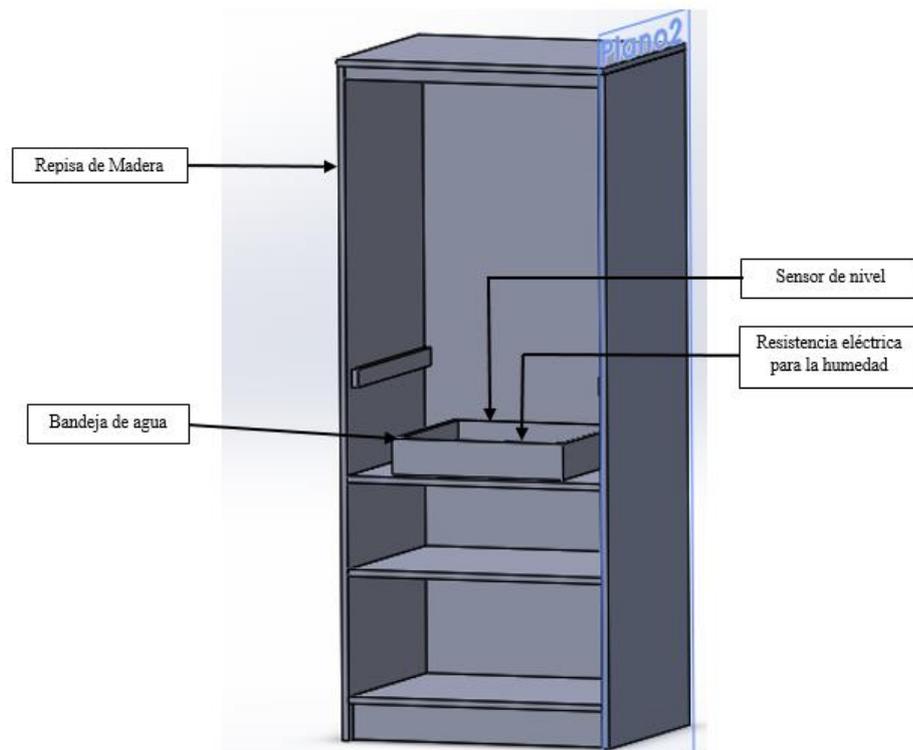
**Figura 41: Ubicación de elementos eléctricos, electrónicos y accesorios utilizados (Bandejas para los huevos, zumbador y tablero de control)**

En la figura 41, se encuentran los siguientes elementos y accesorios:

- **Repisa de madera:** Es el lugar donde va montada el sistema de incubación descrito anteriormente, y tiene un recubrimiento de aislante reflexivo que impedirá que se filtre humedad en la parte donde se encuentra ubicada la bandeja de agua.
- **Bandeja de agua:** Está ubicada en la parte inferior de la repisa y es la que contiene el agua que va permitir generar la humedad relativa en el sistema, presenta las siguientes dimensiones de 400 mm de largo x

400 mm de profundidad y un alto de 80 mm, elaborada en material de tol galvanizado.

- **Resistencia eléctrica para la humedad:** Ubicada dentro de la bandeja con agua para calentarla y poder generar humedad en el ambiente de incubación.
- **Sensor de Nivel:** Ubicado dentro de la bandeja de agua, para poder detectar la cantidad mínima de agua dentro de la bandeja.



**Figura 42: Ubicación de elementos y accesorios de la incubadora (Repisa de madera, bandeja de agua, resistencia eléctrica de agua, sensor de nivel)**

### 3.5 Dimensionamiento de Sensores

Para la implementación de la lógica de control expuesta anteriormente se deberá contar con elementos que permitan obtener datos en señales eléctricas de las mediciones que se estén llevando a cabo en ese momento.

Por lo tanto se ha dividido los sensores de acuerdo a la acción a realizar en los siguientes:

### 3.5.1 Sensores de Temperatura

El proceso térmico para la incubación requiere del accionamiento de un actuador el cual permitirá el paso de corriente hacia la resistencia que generará la temperatura necesaria en el ambiente. Para ello se deberá hacer uso de la magnitud física temperatura medida mediante el sensor que se encontrará dentro de la incubadora.

Seleccionar un sensor de temperatura puede ser muy sencillo y algunas veces difícil, pero siempre el objetivo es hacerlo bien. Esto es porque los sensores, especialmente para uso científico o para ingeniería pueden significar la diferencia entre mediciones repetibles o números disparados. El objetivo es medir con exactitud y con incertidumbres aceptables (METAS, 2006).

En la vida cotidiana existen una gran cantidad de instrumentos para la medición de la temperatura, pero es obligación de los diseñadores seleccionar el mejor termómetro de acuerdo a la aplicación.

Con la finalidad de seleccionar el mejor termómetro se debe tomar en cuenta las siguientes características técnicas de diseño planteadas acorde a la necesidad que se ha visto para el sistema de incubación.

**Tabla 8.**  
**Características técnicas de diseño para el sensor de temperatura**

Parámetros	Detalle
Rango	0°C a 40°C
Exactitud	$\pm 0.1^\circ\text{C}$ a $\pm 0.3^\circ\text{C}$
Niveles de tensión	+3V a +24V
Linealidad:	Lineal
Resolución:	0.125°C

### 3.5.1.1 Acondicionamiento de señal

El sensor de temperatura a ser seleccionado debe cumplir con las siguientes características para el circuito de acondicionamiento.

**Tabla 9:**  
**Requisitos del sensor de temperatura para el circuito de acondicionamiento de señal**

Amplificación	Atenuación	Aislamiento	Filtrado	Excitación	Linealización
✓	-	✓	✓	-	✓

### 3.5.2 Sensor de Humedad

Para el diseño del sensor de humedad se debe tomar en cuenta los porcentajes de humedad relativa a ser alcanzados que van desde el 50% al 66% por lo cual se detalla en la tabla 9 parámetros de diseño.

**Tabla 10.**  
**Características técnicas de diseño del sensor de humedad**

Parámetros	Detalle
Rango humedad relativa	0% a 70%
Exactitud	$\pm 1\%$ a 5%
Niveles de tensión	+3V a +24V
Linealidad	Lineal
Resolución	0.1% RH a 0.5% RH

#### 3.5.2.1 Acondicionamiento de señal

El sensor de humedad a ser seleccionado debe cumplir con las siguientes características para el circuito de acondicionamiento.

**Tabla 11: Requisitos del sensor de humedad para el circuito de acondicionamiento de señal**

Amplificación	Atenuación	Aislamiento	Filtrado	Excitación	Linealización
✓	-	✓	✓	-	✓

### 3.5.3 Sensor de Nivel

El sensor de nivel se utilizará en el sistema de humidificación que será el encargado de medir si se encuentra con o sin agua dicho sistema, para que el sistema no se quede sin abastecimiento de agua de ser necesario.

Las características de diseño planteadas para el sensor son las que se indican en la tabla 10.

**Tabla 12.**  
**Características técnicas de diseño del sensor de nivel**

Parámetros	Detalle
Niveles de tensión	+3V a +24V
Señal de salida	Salida a transistor NC o NA
Temperatura de trabajo	-20°C a 80°C
Material	Plástico

## 3.6 Dimensionamiento de actuadores

Los actuadores que se necesitan para transformar las señales a eléctricas en otras variables como calor, humedad, etc. se detallan a continuación:

### 3.6.1 Resistencia eléctrica calorífica

Se desea calcular la energía necesaria para calentar el sistema de incubación.

Se tiene las dimensiones de la estructura detallada anteriormente y por lo tanto se procede a calcular el volumen y demás factores como se detalla a continuación:

Dimensiones de la incubadora= 60 x 53 x 73 cm

$$Volumen = 232.140 \text{ cm}^3 = 0.2321\text{m}^3$$

$$Densidad \text{ de aire} = 1 \text{ Kg/ m}^3$$

Se sabe que la densidad es igual a:

$$\delta = \frac{\text{masa}}{\text{Volumen}}$$

Por lo tanto despejando la masa del aire a presión de 1 atm se obtiene que:

$$Masa \text{ de aire} = 0.2321\text{Kg}$$

$$T_o = \text{Temperatura inicial} = 16^\circ\text{C}$$

$$T_f = \text{Temperatura final} = 38^\circ\text{C}$$

$$C_e: \text{Calor específico de aire} = 1012 \frac{\text{J}}{\text{Kg. K}}$$

Reemplazando en la ecuación de la energía térmica se tiene que:

$$Q = m(T_f - T_o). C_e$$

$$Q = 0.2321 \times (37 - 16) \times 1012$$

$$Q = 0.2321 \times (21) \times 1012$$

$$Q = 4.932,59 \text{ J}$$

Se debería calentar en aproximadamente 20 min que es el tiempo de diseño que se desea, por lo tanto se debe transformar a segundos.

$t = 20 \text{ min} = 1200 \text{ s}$

Pd: Potencia disipada

$$Pd = \frac{Q}{t} = \frac{4.932,59J}{1200s}$$

$$Pd = 4.11W$$

Energía que requieren los huevos

$m_H$ : Masa del huevo

$m_H$ : 70 gr Por cada huevo sacando para un total de 200 huevos se obtiene que:

$$m_T = 70 \text{ gr} \times 200$$

$$m_T = 14000 \text{ gr} = 14 \text{ Kg}$$

Por lo tanto:

$T_o$ : Temperatura inicial =  $16^\circ\text{C}$

$T_f$ : Temperatura final =  $38^\circ\text{C}$

$$C_{VH} = C_{VH_2O} = \text{Calor específico del huevo} = 4180 \frac{J}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$Q = m(T_f - T_o) \cdot C_{VH_2O}$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$Q = 1287.440(\text{Energía})$$

Se debe tomar un tiempo para que el cambio de temperatura en el huevo no sea brusco en este caso se toma un tiempo de 2 horas como se indica a continuación:

$$t_H = 2\text{h} = 7200\text{s}$$

Sacando la potencia para huevos

$$P_H = \frac{Q_H}{t_H} = 178.81 \text{w} \approx 179 \text{W}$$

### Perdidas de energía

- Energía perdida en paredes

$$P_p \approx 20 \text{ W}$$

Es un valor que se toma acorde al material aplicado y al aislamiento de fibra de vidrio.

- Energía perdida por humidificación:

Temperatura del agua= 25°C

Temperatura de ebullición= 100°C

$$m_{H_2O} = 5 \text{ gr} \rightarrow \text{para } 5 \text{mlt de agua}$$

Donde:

$\Delta h$ : Cambio de entalpia del agua que es la cantidad de energía de un sistema termodinámico que este puede intercambiar con su entorno.

$$\Delta h = 2258 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}}$$

$$Q_u = m \cdot \Delta h$$

Reemplazando

$$Q_u = (0.005 \text{Kg}) \cdot \left( 2258 \frac{\text{KJ}}{\text{KgK}} \right)$$

$$Q_u = 11290 \text{J}$$

$$P_u = \frac{Q_u}{t_u} = \frac{11290J}{900 s}$$

$$P_u = 12,54 W$$

Energía aproximada establecida mediante la temperatura con la atmosfera es de:

$$Q = 2730 J$$

Se toma como referencia un tiempo de 50 segundos es decir si se abre la puerta por unos 50 segundos, la potencia necesaria es la siguiente:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{2730J}{50 s}$$

$$P = 54,60 W$$

Se suma todas las potencias calculadas tanto de pérdidas como necesarias para lograr el ambiente de incubación y se tiene que:

$$P_T = (4.11 + 179 + 20 + 12.54 + 54,60)[W]$$

$$P_T = 270,25 W$$

Se necesita una resistencia mínima de 270,25 W pero por disponibilidad en el mercado se la pueda elaborar de 300W de una forma cuadrangular.

**Tabla 13.**

**Características técnicas de diseño para la resistencia calorífica**

Parámetros	Detalle
Tensión	110 VAC/220VAC
Potencia requerida	300W
Forma	Cuadrangular
Material	Acero Inoxidable
Diámetro interno de tubo	8mm
Dimensiones	25 cm por lado

### 3.6.2 Resistencia Eléctrica para la Humedad

En vista de la necesidad de controlar una humedad interna dentro de la cámara de incubación, se ha visto la necesidad de implementar un actuador que permita generar la humedad relativa en el ambiente.

En el mercado existen diversas formas de realizar un sistema que genere humedad relativa, pero en el caso de sistemas de incubación se investigó sobre cómo generar la humedad relativa necesaria para el sistema, existen distintos métodos uno de ellos es la humidificación a base del ultrasonido, lo que le permiten generar una nebulización del agua a través de vibraciones de muy alta frecuencia, la desventaja de estos sistemas es que funciona para incubadoras con volúmenes pequeños, y por lo tanto no servirán para este caso, por lo detallado se usará el sistema de humidificación mediante calentamiento del agua a través de una resistencia eléctrica dentro de una bandeja, para lograr llegar a los valores entre 50 y 66% de humedad relativa que se necesitan para la incubación.

Se realizará un cálculo para sacar la potencia necesaria para calentar aproximadamente 2 litros de agua que es lo que contiene la bandeja del sistema.

Se procede a calcular la energía necesaria para poder calentar el agua a través de la siguiente fórmula:

$$Q = mx C_e x (T_f - T_o)$$

Donde:

$Q$ : Es la energía necesaria

$m$ : Es la masa del agua

$C_e$ : Calor específico del agua

$T_f$ : Temperatura final

$T_o$ : Temperatura inicial

De datos se tiene que la masa del agua es de 1 Kg por cada litro de agua y se tiene que el calor específico del agua es  $C_e = 4180 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K}$

Por lo tanto reemplazando en la formula la energía necesaria es:

$$Q = 2x(4180)(71^\circ - 16^\circ)$$

$$Q = 2x(4180)(55^\circ)$$

$$Q = 459.800 \text{ Jules}$$

La potencia es igual a la energía (J) sobre el tiempo que se desea que se caliente el agua en segundos (s) como se indica a continuación:

$$P = \frac{451,44 \text{ J}}{1800 \text{ s}}$$

$$P = 255,44 \text{ W}$$

Finalmente por diseño de fabricación el valor se lo redondea a un valor de 300W.

**Tabla 14.**  
**Características técnicas de diseño para la resistencia de la humedad**

Parámetros	Detalle
Tensión	110 VAC/ 220VAC
Potencia requerida	300W
Forma	Tipo M
Material	Acero Inoxidable
Diámetro interno de tubo	8mm
Dimensiones	15 cm por lado

### 3.6.3 Motor de sistema de volteo

El sistema de incubación necesita de un sistema de volteo como se detalló en ítems anteriores, en base a la investigación realizada se ha tomado en cuenta como parámetro importante en el motor que presente un número de revoluciones por minuto  $\leq 2$  ya que el volteo debe presentar revoluciones lentas, y un alto torque de funcionamiento, todo con la finalidad de lograr el movimiento de las bandejas para un volteo automático del sistema con el propósito de que el embrión se desarrolle adecuadamente.

**Tabla 15.**  
**Características técnicas del motor de volteo**

Parámetros	Detalle
Tensión	110 VAC / 220 VAC
Número de revoluciones	1.5 rpm a 2 rpm
Temperatura de operación	0°C a 50°C
Material	Metálico
Potencia necesaria	10W a 14 W
Ángulo de giro	45°C

### 3.7 Dimensionamiento del controlador

Para el dimensionamiento del controlador, se definirán algunos parámetros que debe tener el circuito de control para su óptima funcionalidad y por lo cual dará un acercamiento del controlador necesario para el proceso.

- El sistema debe contar con un interruptor manual como seccionador del estado (Encendido-Apagado), ya que en caso de que exista alguna anomalía, el operario tenga la posibilidad de abrir o cerrar el circuito de alimentación hacia la incubadora.
- El sistema debe contar también con un interruptor para poder encender una luz interna dentro de la cámara de incubación para poder visualizar el proceso como se va desarrollando.

- Una vez energizado todo el sistema, se deberá encender una luz piloto (verde) indicando que el sistema está listo para el funcionamiento.
- El sistema debe poseer una interfaz HMI que indique los parámetros de funcionamiento.
- Para el inicio del proceso el sistema debe dar un pulso de Start a través de la interfaz HMI, que encenderá el actuador (Resistencia calorífica) y demás sistemas para dar inicio al proceso de incubación durante aproximadamente 21 días.

La principal característica que debe poseer el controlador es que pueda ser programado de acuerdo a las necesidades que presente el sistema, característica fundamental que no disponen los elementos de control que nos presenta el mercado que son exclusivamente para incubadoras que tienen controles ya sea para la temperatura, humedad o ambas, la ventaja de un controlador lógico programable es poder realizar cambios al sistema de acuerdo a la necesidad que se quiera solventar.

En vista de lo planteado para poder seleccionar el dispositivo programable, primeramente, se deberá describir el funcionamiento de todo el sistema y posteriormente a lo planteado se elegirá la mejor solución para solventar dichas necesidades.

### **3.7.1 Descripción de funcionamiento del sistema**

A continuación se detallarán los distintos elementos eléctricos y electrónicos que intervienen en el sistema detallando sus respectivas entradas y salidas.

- Sensor de temperatura (entrada analógico con transmisión serial).
- Sensor de humedad (entrada analógica).
- Actuador resistencia eléctrica (Salida PWM)
- Pantalla HMI (Salida Serial RS232)
- Relés (4 Salidas digitales).

- Motor de volteo (Salida Digital).
- Sensor de Nivel (Entrada Digital).
- Ventilador (Salida digital).
- Zumbador (Salida Digital).
- Interruptor fin de carrera para la puerta (Entrada Digital).
- Luces piloto (Salidas a relé)

Por el análisis realizado de las características necesarias que debe tener el PLC para cumplir con todas las exigencias y requerimientos para su correcto funcionamiento en el proceso se lo resume en la siguiente tabla 14.

El PLC debe cumplir con las siguientes características:

**Tabla 16.**  
**Especificaciones para el controlador (PLC)**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Alimentación	12 VDC-24 VDC
Comunicación	Serial
Entradas digitales	3
Entradas analógicas	1
Salidas a relé	4
Salidas digitales	3
Temperatura ambiente	30°C

### 3.8 Panel de Operador

Dentro de los requerimientos por parte del sistema de incubación, se presentó la necesidad del monitoreo y visualización de los parámetros de incubación, para poder tener un mejor control del ambiente internamente, por lo cual se ha considerado los siguientes factores.

- Proveer un sistema económico, que permita visualizar los parámetros del sistema.
- Comunicación Serial para que se pueda conectar con el controlador adquirido.

- Pantalla Táctil para una mejor navegación entre distintas pantallas.

**Tabla 17.**

**Características técnicas de diseño para el panel operador**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Tensión de alimentación	5 VDC- 24 VDC
Temperatura de operación	0°C a 60°C
Humedad relativa de operación	15% a 80%
Comunicación	Serial TTL

### 3.9 Fuente de Poder

La fuente de poder es necesaria para alimentar el PLC, sensores y demás elementos de control se la dimensiona acorde a las características técnicas mencionadas en la tabla 16.

**Tabla 18.**

**Características técnicas de diseño para la fuente de poder**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Tensión de alimentación	110VAC / 220VAC
Corriente de suministro	2 A
Salida en voltaje	24 VDC
Corriente de entrada	0.37 A

#### 3.9.1 Transformador

En vista del planteamiento inicial que tenía la empresa sobre la acometida a 220v que se tenía pensado obtenerla con solicitud a las autoridades competentes en la finca, se realizó la compra del motor de volteo a dicho voltaje, pero finalmente el dueño decidió que el sistema sea a un voltaje de 120V por disponibilidad de la acometida en el momento, por lo cual se vio la necesidad de adquirir un transformador de 110v a 220v, ya que el motor de volteo ya se lo había adquirido.

Por lo tanto se tiene los siguientes datos técnicos del motor para poder dimensionar la capacidad del transformador, se procede hallar la corriente de consumo del motor.

$$P = 14 \text{ W}$$

$$F_p = 0.85$$

A través de la fórmula de la potencia se tiene que:

$$P = V * I * f_p$$

Despejando la corriente:

$$I = \frac{P}{V * f_p}$$

$$I = \frac{14 \text{ W}}{220 * 0.85}$$

$$I = 0.0749 \text{ A}$$

Por lo tanto se tiene una corriente de consumo de 0.0749 A, y se procede a reemplazar en la siguiente fórmula para hallar la potencia del transformador.

$$P = V * I$$

$$P = 120 * 0.0749$$

$$P = 120 * 0.0749$$

$$P = 8.98 \text{ W}$$

**Tabla 19.**  
**Características técnicas de diseño para el transformador**

Parámetros	Detalle
Tensión de alimentación	110VAC / 220VAC
Voltaje de salida	220 VAC
Potencia	10 W

### 3.10 Análisis de entradas y salidas del sistema

Para el análisis de entradas y salidas, se deberá tomar en cuenta todos los sensores y actuadores descritos en los ítems anteriores para poder conocer el estado del sistema.

#### 3.10.1 Diagrama de conexión de módulos y entradas

Para la alimentación al PLC se empleará como ya se mencionó una fuente de 24VDC, la misma que alimentará todo el sistema, las conexiones de entrada se detallan en la figura 42.

A continuación se detallará las señales de entrada al PLC:

#### **ENTRADAS:**

**A0:** Señal digital que ingresa del sensor de temperatura para la medición en el interior de la incubadora a través de protocolo One Wire.

**A1:** Señal digital del sensor fin de carrera que permitirá detectar si la puerta de la incubadora se encuentra abierta o cerrada.

**A2:** Señal digital del sensor de Nivel, permite medir el nivel de agua para el humidificador dentro de la incubadora.

**A4:** Señal analógica del sensor de humedad relativa, permite monitorear en % la humedad relativa que se encuentra dentro de la incubadora en la parte media de la máquina.

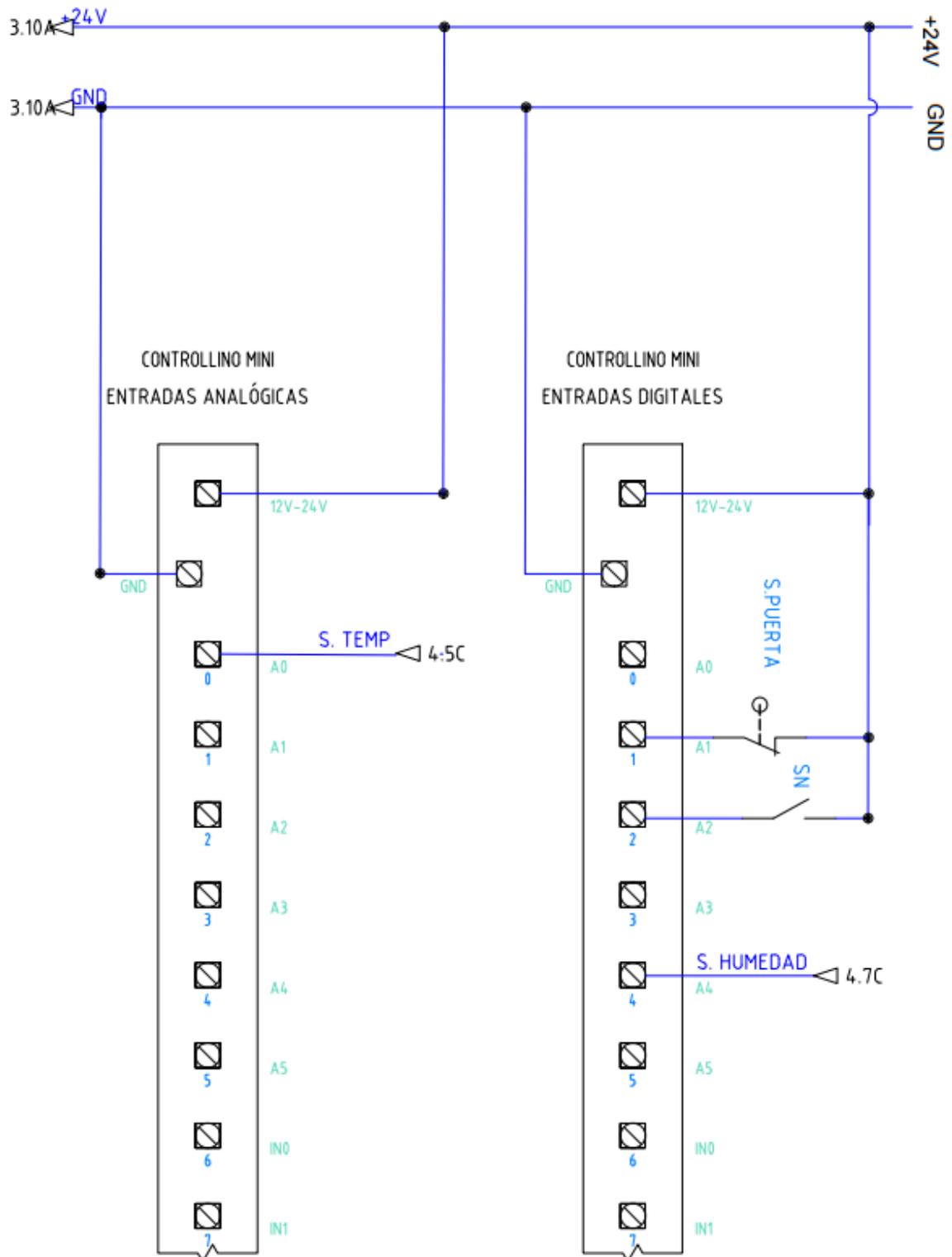


Figura 43: Diagrama de entradas al PLC

### 3.10.2 Diagrama de conexiones de Salida

Las salidas que presenta el controlador son muy versátiles en niveles de voltaje ya que Controllino puede entregar salidas de 5Vdc, y 12 VDC o 24 Vdc (depende la alimentación) a la vez por sus salidas ya sean tipo relé o transistor, por lo tanto las salidas se detallan a continuación:

#### **Salidas a relé conectadas a 110v:**

- **D0:** Señal que alimenta al ventilador interno ya que el PLC soporta en sus terminales un amperaje de hasta 6 A, permitirá distribuir el calor internamente en el sistema.
- **D1:** Señal que alimenta la luz piloto verde, la cual indicará que el sistema empezó a funcionar.
- **D2:** Señal que alimenta la luz piloto roja, la cual indicará si la puerta de la incubadora ha sido abierta o en caso de activación del sensor de nivel que indica la falta de agua para el humidificador, cabe recalcar como ya se mencionó a la versatilidad en salidas se implementará a esta misma salida pero a 24 VDC un zumbador, que será un método de aviso sonoro del sistema.

#### **Salidas discretas:**

- **D4:** Señal que alimenta al humidificador que permitirá controlar la humedad relativa en el sistema de ser necesario.
- **D5:** Señal que alimenta al relé SSR (Solid State Relay), el cual activará la resistencia eléctrica para generar el calor necesario dentro del sistema.
- **D6:** Señal que alimenta al relé de giro1 del motor de la incubadora, permitirá accionar el motor en los primeros 45°.
- **D7:** Señal que alimenta al relé de giro2 del motor de la incubadora, que permitirá accionar el motor en los siguientes 45°, para poder conseguir el sistema de volteo en ambos sentidos.

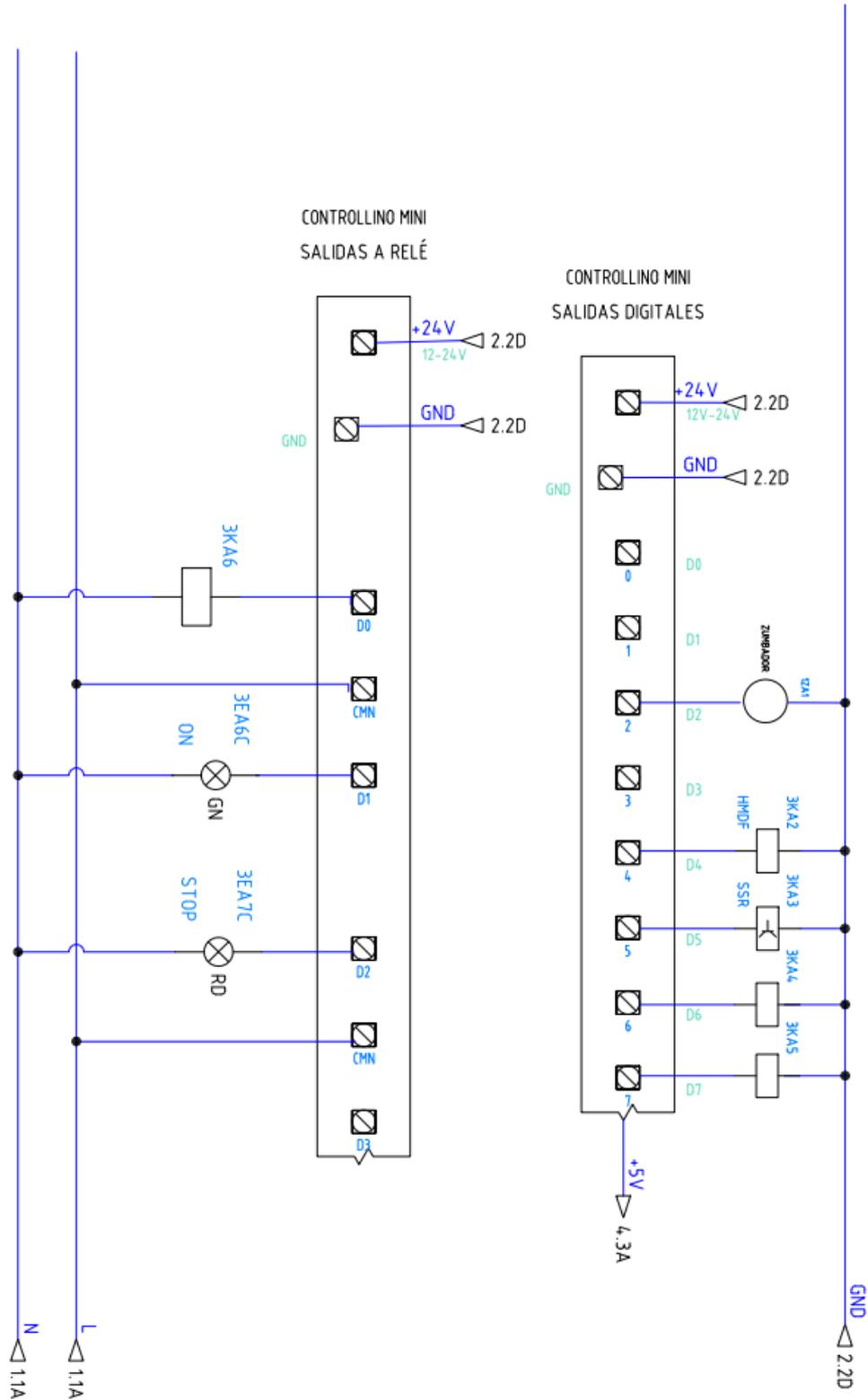


Figura 44: Diagrama de conexiones de salidas del PLC

### 3.11 Diseño del circuito de potencia

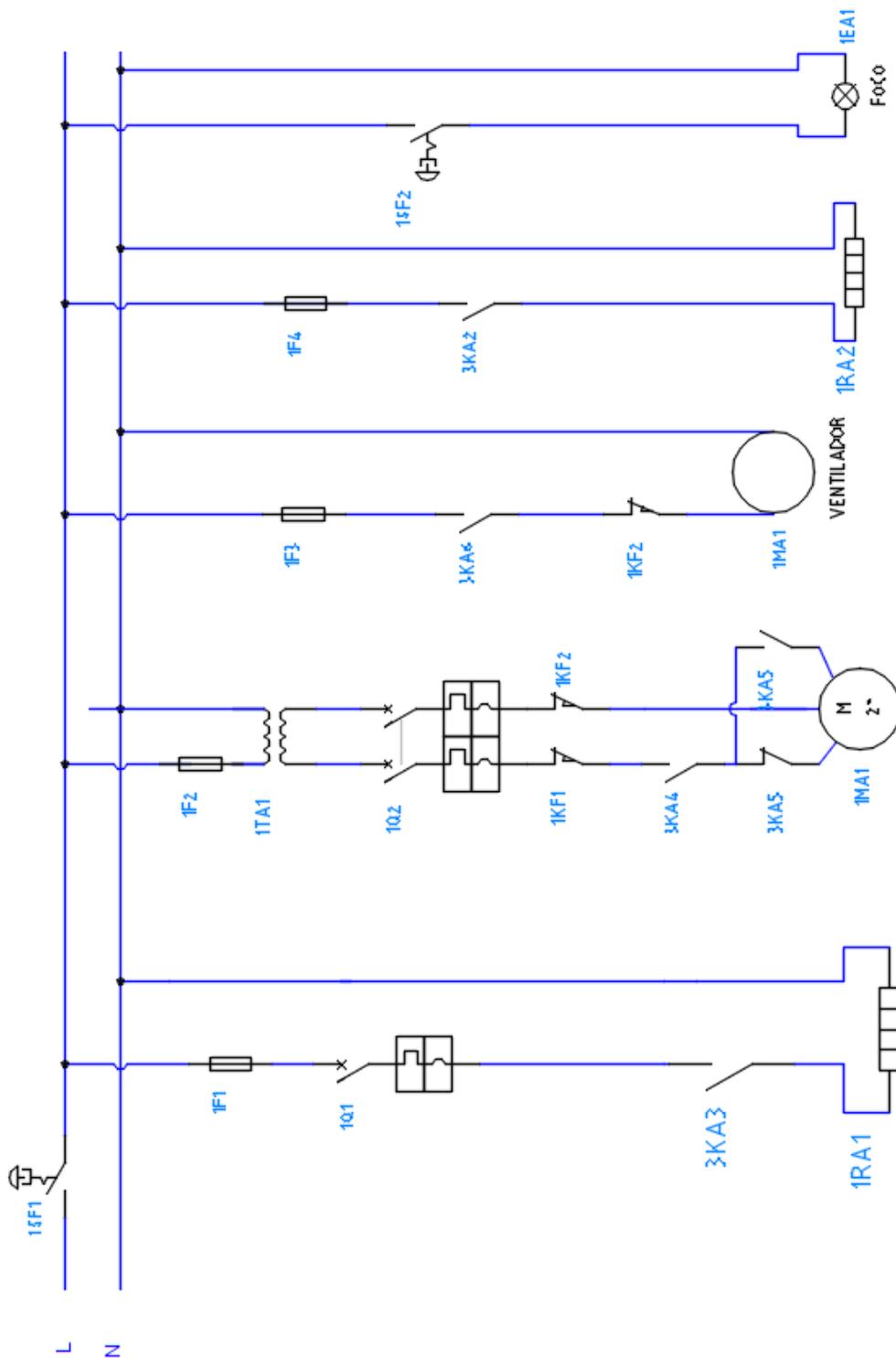
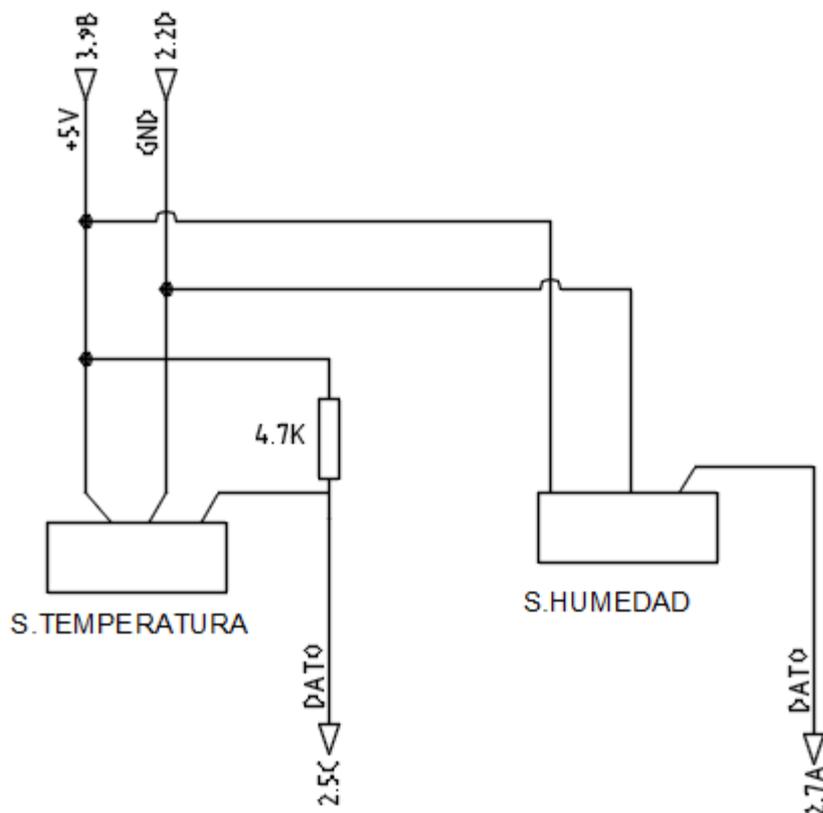


Figura 45: Circuito de potencia

En la figura 44, se visualiza el diagrama de potencia donde el interruptor (1SF1) es el que permite energizar todo el sistema, de igual manera que el interruptor (1SF2) que permite el accionamiento de un foco interno en el sistema para poder visualizar como se va desarrollando el proceso.

### 3.12 Diagrama de conexión de sensores.

En la figura 45, se presenta el diagrama de conexiones de los sensores como el sensor de temperatura que necesita de una conexión Pull-up con una resistencia de 4.7 k para poder enviar los datos al PLC.



**Figura 46. Diagrama de conexión de los sensores**

### 3.13 Arquitectura del sistema de control

A continuación se resumen los elementos que intervienen en el sistema de control automático para dar solución al problema planteado figura 46.

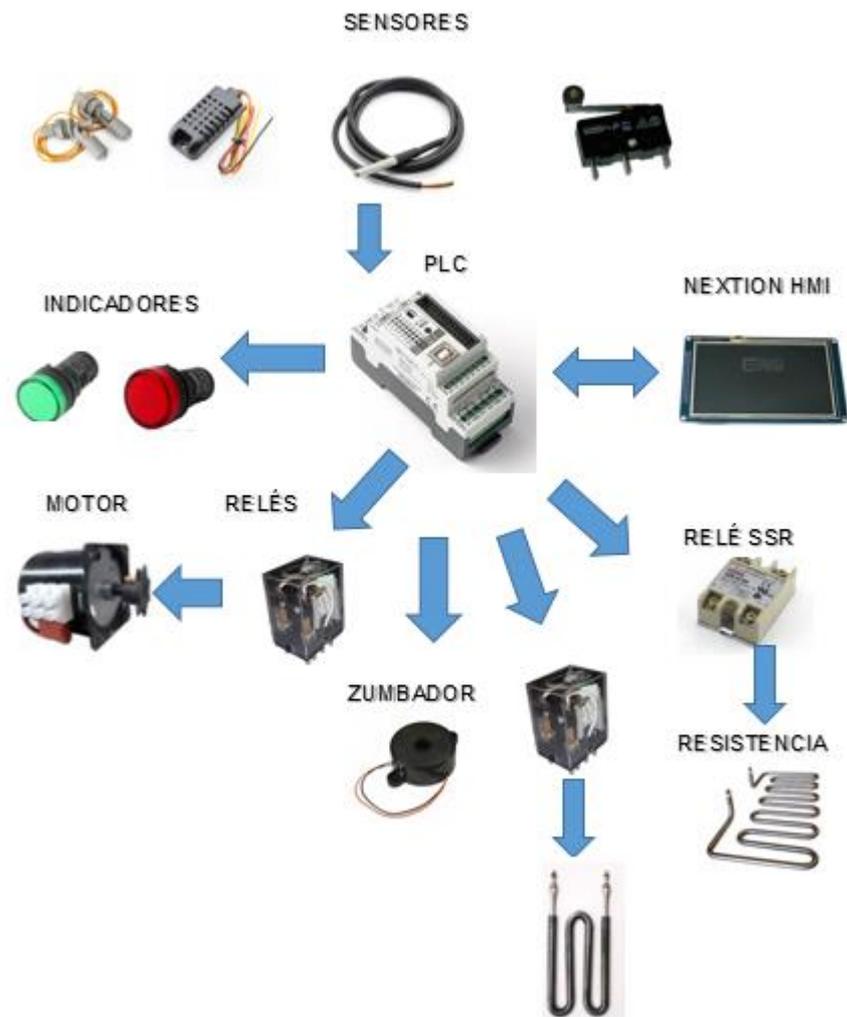


Figura 47: Arquitectura del sistema de control

### 3.14 Dimensionamiento de Protecciones de resistencia eléctrica

Para el dimensionamiento de las distintas protecciones que intervienen en el circuito se tomará en cuenta la corriente máxima que puedan circular a través de estos.

Por lo tanto se debe calcular primero la corriente que circula a través de la resistencia eléctrica.

$$\textit{Suministro energético} = 120V / 1F / 60Hz = E$$

La potencia de la resistencia adquirida es de:

$$\textit{Potencia de la resistencia} = 300W$$

Por lo tanto se procede a calcular la corriente a partir de la siguiente formula:

$$P [W] = \textit{Voltaje}[V] * I[\textit{Amp}]$$

$$I = \frac{\textit{Potencia de la resistencia}}{\textit{V de alimentacion}}$$

$$I = \frac{300W}{120V}$$

$$\textit{Itotal} = 2.5 A$$

Se obtiene una corriente total de 2.5 [A], que es la corriente nominal que circulara a través de la resistencia, a partir de ella se procede al dimensionamiento de los siguientes elementos:

#### 3.14.1 Relé de estado solido

Para la técnica de control seleccionada, se ha seleccionado un relé de estado sólido (SSR), para evitar daños en los contactos principales del

controlador por las constantes activaciones que se tendrá para poder lograr el control de temperatura.

Por lo tanto para la corriente total que circulará hacia la resistencia calculada anteriormente se tiene que:

$$I_{total} = 2,5 A$$

### 3.14.2 Dimensionamiento del conductor

A continuación se especificará el conductor que será necesario para conectar la resistencia eléctrica, cabe recalcar que el conductor no va soportar mayor temperatura y se lo colocará en la parte externa de la incubadora.

#### Datos:

- Potencia de la resistencia=300W
- Voltaje de entrada o alimentación=120V
- Frecuencia de Trabajo= 60Hz
- $I_n=2,5 A$

1) Se selecciona el tipo de conductor que se debe utilizar

C (cu), debido a que tiene menos pérdidas eléctricas y es uno de los mejores conductores de electricidad.

2) Como segundo punto se selecciona el material de aislamiento a utilizar de acuerdo a las características donde se va colocar el cable.

Debido a que la conexión que alimente a la resistencia será instalada en Santo Domingo una ciudad con un grado de humedad alto, además estará en un medio en donde puede variar su temperatura se ha decidido seleccionar un tipo de aislamiento **THW** que presenta conductor con aislamiento termoplástico de 75°C y resiste al calor y la humedad, requerimientos necesarios de acuerdo al sitio en que va ser instalado.

Para dimensionar el cable se procederá a sacar la corriente del cable con un sobredimensionamiento del 125% como se indica a continuación:

Datos:

$I_n$ = Corriente Nominal

$I_c$ = Corriente del cable

$$I_c = 125\% I_n[A]$$

$$I_c = 125\% (2,5)[A]$$

$$I_c = 3,12[A]$$

Por lo tanto se debe seleccionar un cable que soporte un mínimo de corriente de 3.12 A y que tenga un recubrimiento mínimo THW.

En la siguiente tabla 18 se detalla el cable diseñado para la resistencia.

**Tabla 20.**  
**Selección del calibre del conductor de la resistencia**

Tipo	Corriente	Longitud	Calibre (AWG)
THW	20 A	1 m	14

### 3.14.3 Fusibles

Se utiliza para instalaciones eléctricas y proteger ya sea el cable o la carga

$$I_F = 125\% * I_N$$

Donde:

**I<sub>F</sub>**= corriente de protección de los fusibles

**125%**= constante de sobredimensionamiento para la corriente nominal

**IN**= corriente nominal o a plena carga

A continuación se dispone de los siguientes datos:

**IN**=2,5 A

$$IF = 1.25 * 2,5 A$$

$$IF = 3.12 A$$

En el mercado existen valores normalizados de fusibles cilíndricos tipo cartucho que son las que se muestran en la figura 47:

2	4	6	10	16	20	25	35
40	50	63	80	100	125	160	200
250	315	400	425	500	630	800	1000

**Figura 48: Fusibles estándar en el mercado**

Fuente: (Enriquez, 2008)

Por lo tanto el fusible inmediato superior que se describen en la figura 47 es el de 4 A.

**Tabla 21.**  
**Características técnicas de diseño para el fusible de la resistencia eléctrica**

Datos técnicos	Descripción
Nº de dispositivos	1
Corriente	4 A
Tipo	Cartucho

### 3.15 Dimensionamiento de protecciones para el ventilador

#### 3.15.1 Potencia del ventilador

Para saber la potencia que maneja el ventilador se procede a sacar la potencia consumida por el mismo en [W], como se indica a continuación:

El ventilador presenta los siguientes datos técnicos:

Voltaje de alimentación=120 VAC

Corriente de consumo= 470mA

Por lo tanto se calcula la potencia de consumo mediante la siguiente formula:

$$P = V * I$$

$$P = 120 V * 470mA$$

$$P = 56.4 W$$

#### 3.15.2 Relé

Al tener un ventilador a 110 VAC se deberá disponer de un relé para poder conmutar la parte de control con la de potencia.

De acuerdo a los siguientes datos se dimensionará un relé con las siguientes especificaciones:

La corriente de carga que deberán soportar los relés es de 1A con voltaje de activación de 24 VDC ya que cumplen con las especificaciones de uso del ventilador.

**Tabla 22.**  
**Especificaciones técnicas del relé para el ventilador**

Datos técnicos	Descripción
Nº de dispositivos	1
Rango de entrada Bobina	24 VDC
Corriente de carga	1 A
Contactos NA	1

### 3.15.3 Fusibles

A continuación se dispone de los siguientes datos:

$$I_N = 470 \text{ mA}$$

$$I_F = 1.25 * 470 \text{ mA}$$

$$I_F = 0.58 \text{ A}$$

Por lo tanto se escoge el valor próximo de 1 A que es la inmediata superior para la corriente calculada de protección.

**Tabla 23.**  
**Características técnicas de diseño para el fusible del ventilador**

Datos técnicos	Descripción
Nº de dispositivos	1
Corriente	1 A
Tipo	Cartucho

### 3.16 Dimensionamiento de Protecciones del motor de volteo

Un análisis fundamental que se debe realizar con el motor es que no va a tener mayor carga o diferencia de torque para su funcionamiento, a diferencia de cuando se usa motores para aplicaciones en donde se pueda tener un cambio en su torque nominal para el cual ha sido diseñado, como por ejemplo

una aplicación común de los motores en las bandas transportadoras, ahí se podría dar un cambio en su torque al aplicar una mayor carga de la soportada, por ende el motor se va a ver forzado teniendo como consecuencias un calentamiento del mismo, pero en el sistema de incubación se ha analizado que el motor al no estar expuesto a ninguno de los factores expuestos sino más bien de ser un motor que brinde más bien un pequeño movimiento cada dos horas para el balanceo de las bandejas es suficiente con una protección contra cortocircuitos, ya que no es necesario de relés térmicos ni de guarda motores para esta aplicación, más bien estos elementos de ser colocados estarían sobredimensionados.

### 3.16.1 Fusibles

Para el cálculo de los fusibles se toma en cuenta la corriente nominal de consumo que es de 0.0433 A (dato obtenido en la sección 3.10.1), por lo tanto se tiene lo siguiente:

$$IF = 1.25 * 74.9mA$$

$$IF = 0.0936$$

Como se puede visualizar la corriente del fusible calculada IF es demasiada baja, por lo cual se tomará como mínimo valor los fusibles disponibles en el mercado que son de 1 A como protección para el motor de la incubadora.

**Tabla 24.**  
**Características técnicas de diseño para el fusible del motor**

Datos técnicos	Descripción
Nº de dispositivos	1
Corriente	1 A
Tipo	Cartucho

## CAPÍTULO IV

### 4 INGENIERÍA DE DETALLE

En el diseño de la ingeniería de Detalle del proyecto se definirán con detalle los ítems planteados en la ingeniería Básica, realizando un desglose de cada una de las tareas realizadas como por ejemplo citar los distintos softwares empleados, programación del controlador adquirido, distribución del tablero de control, distribución y configuración del HMI del sistema de incubación, aplicando los conocimientos adquiridos con el fin de dar a conocer la solución final al problema planteado y los procedimientos realizados.

#### 4.1 Selección de sensores

##### 4.1.1 Sensor de temperatura

Por lo tanto, una vez detalladas las características a seleccionar en el sensor de temperatura en la ingeniería básica se ha optado por un sensor económico y fiable que preste las características antes mencionadas como lo es el sensor DS18B20 que viene en su versión de encapsulado listo para una fácil conexión y obtención de los datos de temperatura, a continuación se detallará características técnicas del sensor seleccionado.

##### 4.1.1.1 Sensor de temperatura DS18B20

El sensor que se ocupará para la medición de la temperatura es el DS18B20 figura 48, ya que la cumple con las características antes mencionadas en la tabla 8, requiere de un sensor con una buena precisión y que no se maneje en rangos demasiados altos de temperatura sino más bien

teniendo como principal característica su fácil conectividad y precisión en la medida.

El sensor de temperatura DS18B20 es un sensor que se comunica de forma digital. Cuenta con tres terminales los cuales son Vcc, GND, y el pin Data. La comunicación que utiliza el sensor es comunicación OneWire, que es un protocolo que permite enviar y recibir datos utilizando un solo cable, principal diferencia de los demás protocolos que requieren dos cables por lo general.

El sensor deberá ser ubicado de tal manera que permita obtener un valor real de la temperatura en el sistema, tratando de evitar alguna interferencia electromagnética de existir, y se recomienda utilizar cable trenzado y apantallado.

Las características técnicas del sensor se presentan a continuación Tabla 23.



**Figura 49: Sensor DS18B20**

**Tabla 25.**  
**Detalles técnicos del sensor**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Modelo	DS18B20
Voltaje de alimentación	5 VDC
Resolución	11 bits
Rango de Medición Temperatura	-50° C a 125 °C
Temperatura Precisión de la medida	+/- 0.3 °C
Protocolo	OneWire

#### **4.1.1.2 Principio de funcionamiento del sensor**

Los chips de la familia DS18b20 tienen un oscilador cuya frecuencia no depende de la temperatura, es fija. Dicho oscilador actúa como reloj interno y genera pulsos a un ritmo constante. Luego tienen otro oscilador cuya frecuencia sí depende de la temperatura. Mientras el primero genera pulsos a su ritmo, este último determina el tiempo de medición.

De esta forma contando cuantos pulsos ha generado el primero se puede saber durante cuánto tiempo ha estado abierto el segundo, así es como se calcula la temperatura.

#### **4.1.2 Sensor de Humedad**

El sensor de humedad de la figura 49 que va ser instalado en el sistema cumple con las especificaciones de diseño planteadas, las especificaciones técnicas nos la detalla la tabla 24.



**Figura 50: Sensor de Humedad DHT21**

**Tabla 26.**  
**Detalles técnicos del sensor de Humedad**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Modelo	DHT21
Voltaje de alimentación	5 VDC
Resolución de Exactitud	0.1
Gama de la medida	0-100% RH
Rango de Medición Temperatura	-40° C- 80 °C
Humedad Precisión de la medida	+ - 3% RH
Salida	Analógica

#### **4.1.2.1 Principio de Funcionamiento**

El sensor de humedad analógico basa su funcionamiento en una resistencia para medir la humedad y cuya salida es un voltaje analógico con comportamiento lineal.

#### **4.1.3 Sensor de Nivel**

El sensor de nivel que se presenta a continuación en la figura 50 ha sido seleccionado ya que cumple con las características de diseño planteadas, en la tabla 25 se detalla dichas características.



**Figura 51: Sensor de Nivel**

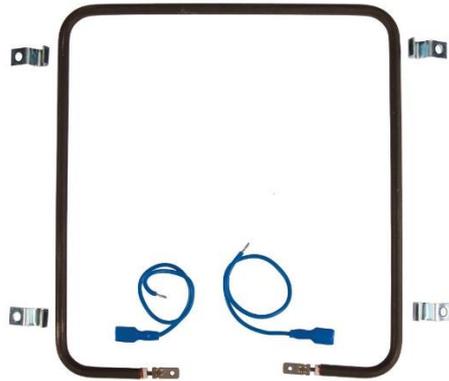
**Tabla 27.**  
**Detalles técnicos del sensor de nivel**

Parámetros	Detalle
Modelo	COD0125
Voltaje de alimentación	5 VDC
Señal de Salida	Salida a transistor NC o NA
Alimentación Máximo	220 VDC
Temperatura de Trabajo	-20 a 80 °C
Corriente de Conmutación	1.5 A
Máxima	
Material	Plástico PVC

## 4.2 Selección de actuadores

### 4.2.1 Resistencia eléctrica calorífica

Una vez detalladas las potencias necesarias para la resistencia eléctrica del sistema de incubación se ha seleccionado una como se indica en la figura 51 y sus características se las detallada en la siguiente tabla 26.



**Figura 52: Resistencia eléctrica para generar temperatura**

**Tabla 28.**

**Detalles técnicos de la resistencia calorífica**

Parámetros	Detalle
Tensión	110 VAC
Potencia requerida	300W
Forma	Cuadrangular
Material	Acero Inoxidable
Diámetro interno de tubo	8mm
Dimensiones	25 cm por lado

#### 4.2.2 Resistencia eléctrica para la humedad

Las características técnicas de la resistencia para generar la humedad en el sistema de incubación se detallan en la tabla 27, dando como resultado las siguientes dimensiones de 15 cm de lado por lado con una forma tipo “M” para que cubra el centro de la bandeja de humedad figura 52.



**Figura 53: Resistencia eléctrica de agua**

**Tabla 29.**

**Detalles técnicos del Humidificador (Resistencia eléctrica)**

Parámetros	Detalle
Modelo	Resistencia para calentar agua
Voltaje de alimentación	110 VDC
Corriente de alimentación	2.5 A
Material	Acero Inoxidable

#### 4.2.3 Motor de sistema de volteo

Por lo tanto el motor que se encontró en el mercado figura 53 justo para sistemas de incubación consta de una base metálica acoplada con dos fines de carrera que desactivan una fase del motor internamente al girar 45°, el funcionamiento se basa en desactivar una fase del motor cuando son pulsados por las bandejas al hacer el movimiento giratorio, se detallan a continuación en la tabla 28 sus especificaciones técnicas.



**Figura 54: Motor para incubadoras**

**Tabla 30.**  
**Detalles técnicos del motor de sistema de volteo**

Parámetros	Detalle
Modelo	50KTYZ
Voltaje de alimentación	220 VAC
Potencia	14 W
Material	Base Metálica
Ángulo	45°
Velocidad	2 rpm
Capacidad	Movimiento para máquinas de 300 huevos

### 4.3 Selección del controlador Lógico Programable

Una vez detalladas las entradas y salidas necesarias para controlar el sistema se realizará la selección del controlador, cabe recalcar que al ser un sistema prototipo el controlador a ser seleccionado no debe ser de un costo demasiado elevado, ya que es un factor importante que se tiene que escalar durante la ejecución de un proyecto, ya que en el mercado existen una gran cantidad de controladores de distintas gamas (baja, media, alta), claro está con distintos rangos de precios.

Por ello estudiando los distintos modelos de PLC en el mercado, y teniendo como un factor importante su costo se ha decidido usar el controlador de marca “Controllino” figura 54, que es un PLC diseñado por SG- Tronic que principalmente dispone de software libre basado en los microcontroladores para su programación en C.

#### 4.3.1 Ventajas del Controlador seleccionado

El PLC Controllino tiene relés certificados con la UL (Underwriters Laboratories) que es una certificación de seguridad de los productos para dispositivos del mercado estadounidense y CE que es una marca europea para ciertos grupos o productos industriales, fue establecida por la comunidad europea certifica que los mínimos requisitos legales y técnicos en materia de seguridad de los estados miembros de la Unión Europea que gobierna parte de Europa, son estándares de los más reconocidos que prueban y certifican los productos mundialmente.

En la siguiente tabla 29 se describen algunas de las ventajas al implementar el sistema de incubación con el PLC Controllino con respecto a otras marcas populares de PLC en el mercado.

**Tabla 31.**  
**Comparativa entre varias marcas de PLC**

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>CONTROLLINO</b>	<b>SIEMENS</b>	<b>ALLEN BRADLEY</b>
<b>Programación</b>	LadderMaker Arduino IDE, Logi.CAD 3, Visuino	Tia Portal	Rockwell Automation
<b>Licencia</b>	Libre	Pagada	Pagada
<b>Módulos de expansión</b>	No	Si	Si
<b>Precio</b>	\$140 a \$250	\$200 a \$600	\$200 a \$600
<b>Conectividad con HMI</b>	Nextion	Siemens	Allen Bradley

Continua 

<b>Estándares</b>	EN61010-1	EN 61131-2:2007
	EN61010-2-201	EN 61000-6-4:2007
	EN61131-2	EN 61000-6-2:2005

Una vez detallada la tabla 29 se puede definir como la principal ventaja la programación en software libre que dispone en relación a PLC's que disponen de licencias pagadas para su programación.

En la tabla 30 se puede visualizar las principales características que presenta el controlador adquirido.



**Figura 55: PLC Controllino**

**Tabla 32.**  
**Principales características del PLC**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Modelo	Controllino Mini
Standard	EN61010-1 EN61010-2-201 EN61131-2
Temperatura de Operación	5°C-55°C

Continua 

Humedad Relativa	Hasta 80%
Alimentación	12-24 VDC
Salidas a relé 6A 250 VAC	6
Salidas discretas	8
Entradas discretas	8
Entradas Análogas 12-24 VDC	4

#### 4.4 Selección del panel operador

Para la selección del panel de operador se decidió utilizar una pantalla de la marca Nextion como se ilustra en la figura 55, que es una pantalla económica como una solución de interfaz (HMI), y es una de las mejores soluciones para reemplazar a los LCD o sistemas más costosos.



**Figura 56: Pantalla Nextion**

En la tabla 31 se describen las características técnicas de la pantalla seleccionada.

**Tabla 33.**  
**Características Técnicas de la pantalla Nextion**

Parámetros	Detalle
Modelo	NX8048T050_011R 5.0"
Voltaje de alimentación	5 VDC
Corriente de Operación	1 A
Temperatura	-30 a 85 °C

Continua 

Humedad Relativa	10% a 90%
Puerto Serial	2400-115200 bps
Memory Flash	16 MB

#### 4.4.1 Ventajas de la pantalla de operador seleccionada

A continuación se detallará una tabla comparativa con dos marcas reconocidas que proporcionan pantallas a nivel industrial.

**Tabla 34.**  
**Cuadro comparativo de pantallas de operador**

CARACTERÍSTICAS	NEXTION	SIEMENS	ALLEN BRADLEY
<b>Programación</b>	Nextion Editor	Tia Portal	Rockwell Automation
<b>Licencia</b>	Libre	Pagada	Pagada
<b>Pantalla</b>	Táctil	Táctil	Táctil
<b>Precio</b>	\$50 a \$100	\$500 a \$800	\$500 a \$800
<b>Conectividad con PLC</b>	Serial TTL	Profibus Profinet	Ethernet
<b>Alimentación</b>	5 VDC	24 VDC	24 VDC

Como se puede visualizar en la tabla 30 existe una gran diferencia de las marcas reconocidas en el mercado que proporcionan pantallas táctiles para diversas aplicaciones industriales al ser más robustas que la pantalla Nextion, sin embargo la gran ventaja que puede presentar esta pantalla con respecto a las otras es su programación en software libre que en el caso del sistema de incubación al requerir una pantalla que sea económica se ajusta a las necesidades requeridas y cumple con las especificaciones de diseño planteadas.

#### 4.5 Accesorios

Para los sistemas de incubación también se requiere de algunos accesorios que ayudan a complementar el sistema, a continuación se detallan

las características técnicas del ventilador y la cubeta para colocar los huevos a ser incubados.

#### 4.5.1 Ventilador

El ventilador a ser seleccionado debe presentar un sistema de revoluciones que permita distribuir el calor generado a través de la resistencia calorífica dentro de la cámara de incubación

Por lo cual se ha tomado la decisión del ventilador mostrado en la figura 56 con 2500 rpm que gracias a su gran velocidad de las aspas logran producir la ventilación necesaria para que se distribuya el calor y cuyas especificaciones técnicas se detallan en la tabla 33.



**Figura 57: Ventilador**

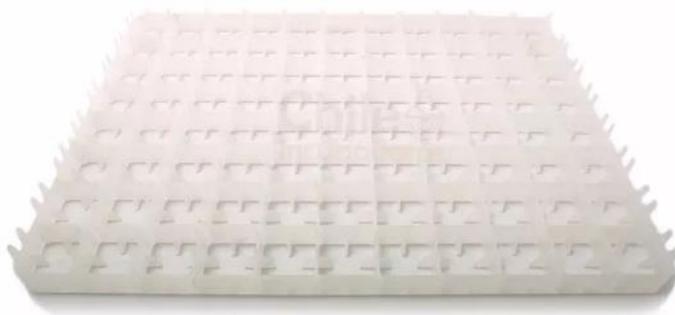
**Tabla 35.**  
**Detalles técnicos del ventilador**

Parámetros	Detalle
Modelo	VN-5150
Voltaje de alimentación	120 VAC
Corriente de consumo	470 mA
Numero de Revoluciones	2500 RPM
Dimensiones	18 cm largo x 15 cm ancho x 5 cm de profundidad
Cantidad	1

#### 4.5.2 Bandeja para huevos

Las bandejas para poder colocar huevos son necesarias en el sistema de incubación, ya que permiten que el huevo sea sujetado de tal manera que no sufra ningún daño en su cascaron y de esta manera pueda recibir los parámetros de temperatura, humedad y volteo.

En la figura 57 se puede visualizar el tipo de bandeja adquirida, y en la tabla 34 se describen más especificaciones sobre la misma.



**Figura 58: Bandeja para incubación de huevos.**

**Tabla 36.**  
**Especificaciones de la bandeja para huevos de gallina**

Parámetros	Detalle
Modelo	Bandejas para incubadoras
Capacidad	Para 64 huevos
Dimensiones	37 cm x 37 cm
Material	Plástico altamente resistente

#### 4.5.3 Bandeja para la humedad

Finalmente para poder generar humedad relativa en el ambiente se necesita de una bandeja elaborada en tol galvanizado figura 58, que permite contener agua en su interior para ser calentada y generar humedad para el sistema.



**Figura 59: Bandeja para generar la humedad**

**Tabla 37.**  
**Especificaciones de la bandeja para la humedad**

<b>Parámetros</b>	<b>Detalle</b>
Dimensiones	40 cm de largo x 40 cm de ancho x 8 cm de alto.
Material	Tol galvanizado

#### **4.6 Fuente de poder**

Al tener un análisis ya de todos los elementos a utilizar se decidió utilizar una fuente de 24 VDC, como la que se muestra en la figura 59, cuyas características se presentan en la tabla 36.



**Figura 60: Fuente de Poder**

**Tabla 38.**  
**Detalles técnicos de la fuente de poder**

Parámetros	Detalle
Marca	IMP LINE
Voltaje de alimentación	110VAC-220VAC
Corriente de Entrada	0.37 A
Salida en voltaje	24 VDC
Salida en corriente	2A

#### 4.6.1 Transformador

Por lo tanto se obtiene una potencia de consumo de 8.98 W calculada en la ingeniería básica como mínimo para que el transformador no sufra daño alguno, en la tabla 37, se detalla el transformador adquirido.



**Figura 61: Transformador convertidor de voltaje de 110v-220v**

**Tabla 39.  
Especificaciones técnicas del transformador 110v-220v**

Parámetros	Detalle
Marca	EVL
Voltaje de alimentación	110VAC
Voltaje de salida	220VAC
Potencia	100 Watios

Se ha realizado la compra de un transformador de 100 w ya que es el de más bajo valor en potencia en el mercado.

#### **4.7 Selección de protecciones de resistencia eléctrica**

##### **4.7.1 Relé de estado sólido**

La corriente de carga de los relés de estado sólido es de aproximadamente 3A y su voltaje de activación es de 24 VDC. En la tabla 38 se tiene el relé de estado sólido seleccionado.



**Figura 62: Relé de estado sólido**

**Tabla 40.  
Detalles técnicos del relé SSR**

Parámetros	Detalle
Marca	Maxwell
N° de dispositivos	1
Marca	110VAC-220VAC
Rango de Entrada	3-32 VDC
Corriente de carga	25 A
Frecuencia	60 Hz

## 4.8 Selección de protecciones para el ventilador

### 4.8.1 Relé

Al tener un ventilador a 110 VAC se deberá disponer de un relé para poder conmutar la parte de control con la de potencia.

De acuerdo a los siguientes datos se dimensionará un relé con las siguientes especificaciones:

La corriente de carga que deberán soportar los relés es de 1A con voltaje de activación de 24 VDC ya que cumplen con las especificaciones de uso del ventilador.

**Tabla 41.**  
**Especificaciones técnicas del relé para el ventilador**

<b>Datos técnicos</b>	<b>Descripción</b>
Nº de dispositivos	1
Marca	Camsco
Rango de entrada Bobina	24 VDC
Corriente de carga	7 A
Contactos NA	2
Contactos NC	2

#### **4.9 Tablero de Control**

El tablero de control ha sido previsto para permitir un alojamiento de los distintos dispositivos de control y potencia que se encuentran en el sistema, así como brindar seguridad y de un acceso rápido en caso de alguna avería.

Una característica importante del gabinete es que debe poseer un sobredimensionamiento, ya sea por cualquier caso de algún ajuste o adaptación de nuevos elementos en un futuro.

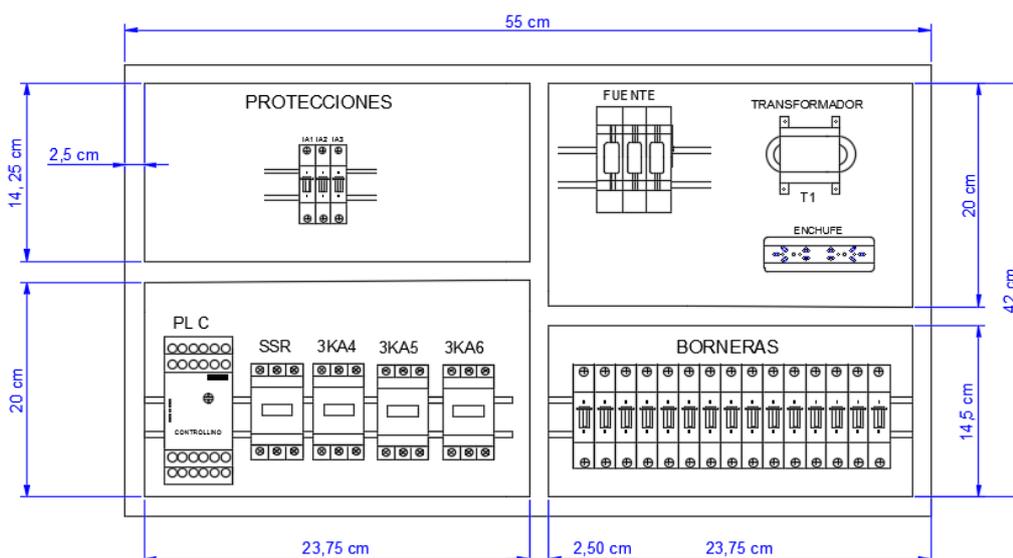
Para conseguir unas dimensiones y características de distribución del gabinete se detallará a continuación la distribución en el tablero de control de los distintos elementos.

##### **4.9.1 Distribución de elementos**

Una vez seleccionados los elementos a utilizarse en el proceso se tiene que realizar una distribución correcta de los dispositivos obtenidos, debido a ello se ha realizado la distribución empleando el software AutoCAD Electrical como se ilustra en la figura 62 , donde se puede visualizar un tablero dividido en 4 etapas, separando en la primera etapa solo elementos de protección, la

segunda etapa dispositivos de alimentación (enchufes, fuente, transformador), la tercera etapa elementos de control (Plc, Relés), y finalmente la última etapa donde se encuentran las borneras para enlazar varios puntos comunes.

En cada etapa se puede visualizar las medidas en las cuales se ha dividido el tablero para que se acoplen adecuadamente los elementos de control de la incubadora.

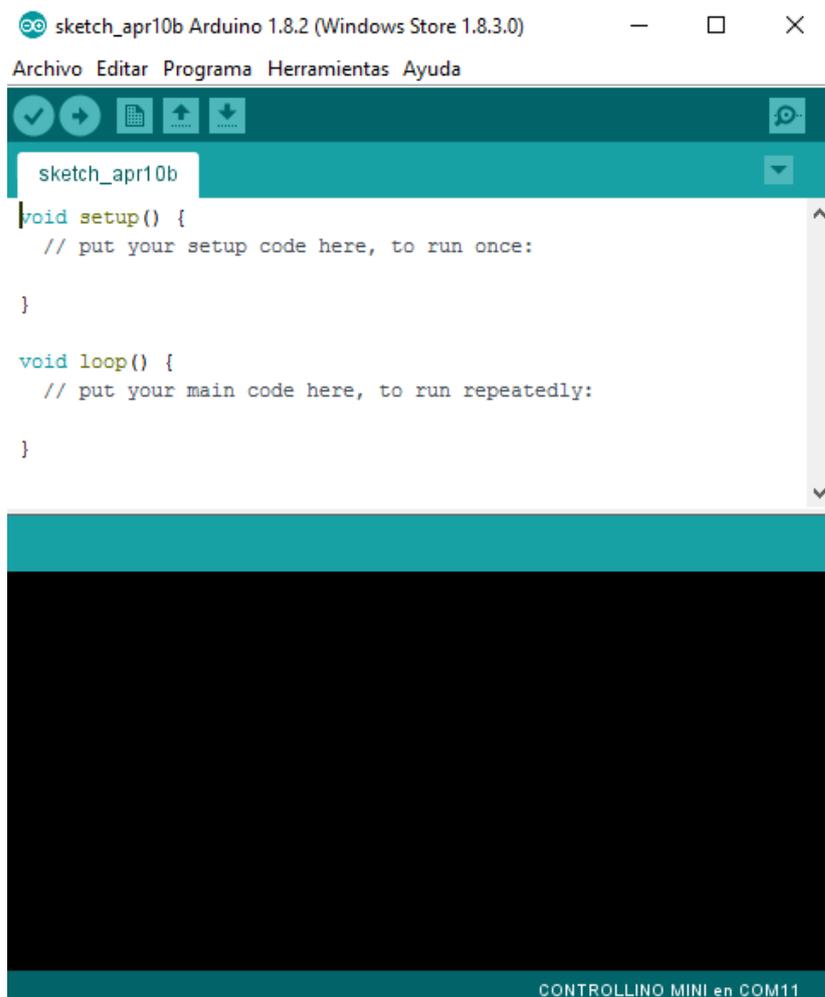


**Figura 63: Diagrama de distribución de los elementos**

## 4.10 Software para la programación

### 4.10.1 Software para el PLC

Una de las ventajas del PLC Controllino seleccionado es básicamente su software de programación ya que es de plataforma libre para su programación, debido a que es basado en el mismo software de programación de arduino, por lo tanto en la figura 63, se muestra el entorno principal empleado por arduino para sus controladores.



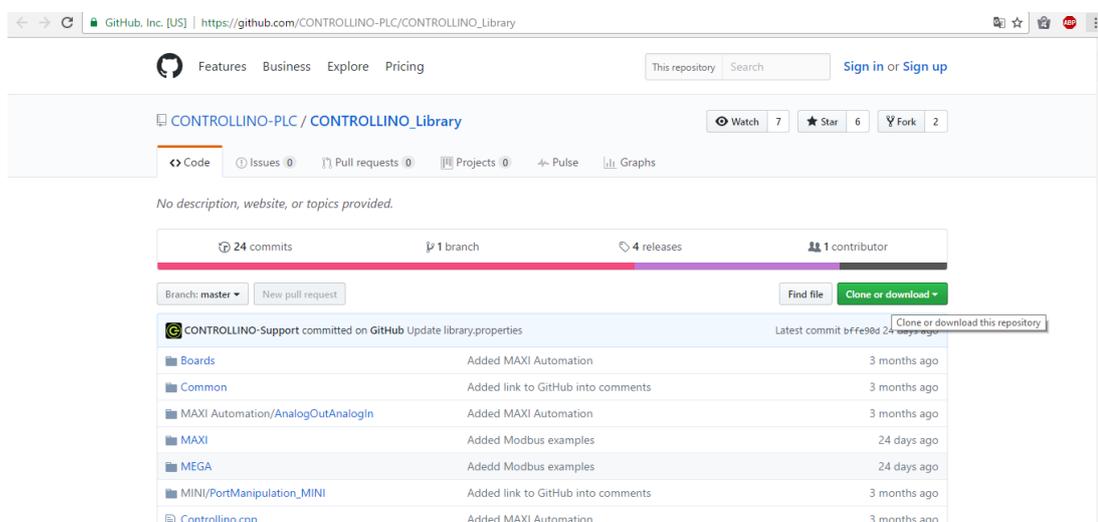
**Figura 64: Entorno gráfico de Arduino IDE**

El software Arduino IDE posee una biblioteca principal para poder hacer uso del PLC Controllino, para realizar la configuración del sistema se debe realizar los siguientes pasos descargándose de la página principal de Controllino en la pestaña Programación como ilustra la figura 64.



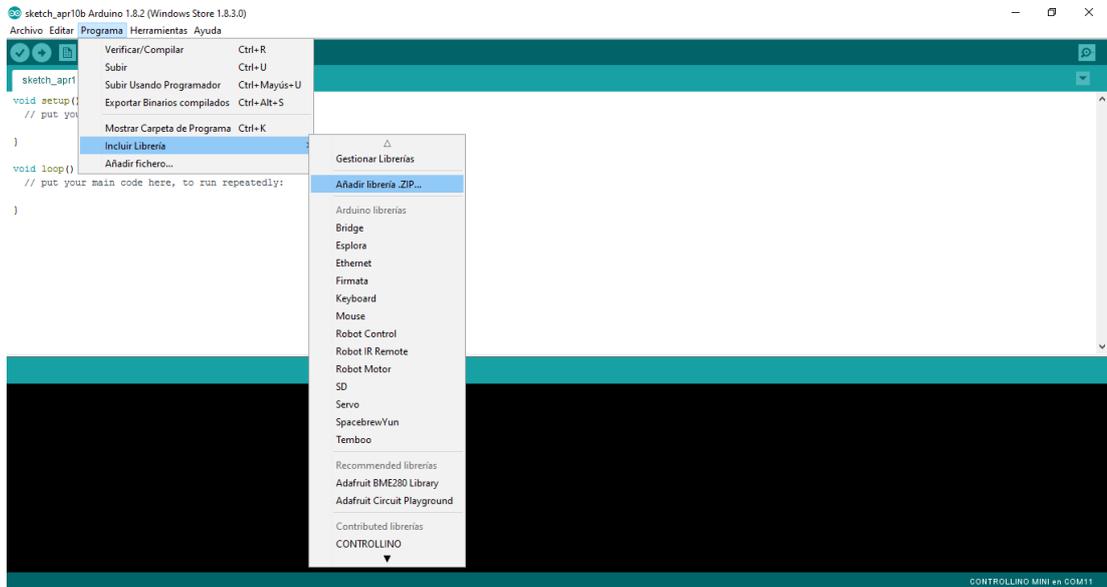
**Figura 65: Portada oficial de descarga de Controllino**

Se selecciona en la guía de instalación de la biblioteca para Controllino y se despliega el siguiente link de descarga donde se puede dar en “Clone or download” y automáticamente empieza la descarga del contenido comprimido con la librería con todos los modelos de PLC Controllino existentes como lo indica la figura 65.



**Figura 66: Librería para controlador Controllino**

Una vez descargada la librería se la añade como cualquier otra librería de arduino como se indica en la figura 66.



**Figura 67: Añadiendo la librería en el programa Arduino IDE**

Una vez ya instalada la librería se puede verificar si ya se encuentra la librería Controllino que presentan las siguientes extensiones:

```
#include <SPI.h>
```

```
#include <Controllino.h>
```

Que son las que van a permitir declarar y programar el PLC deseado.

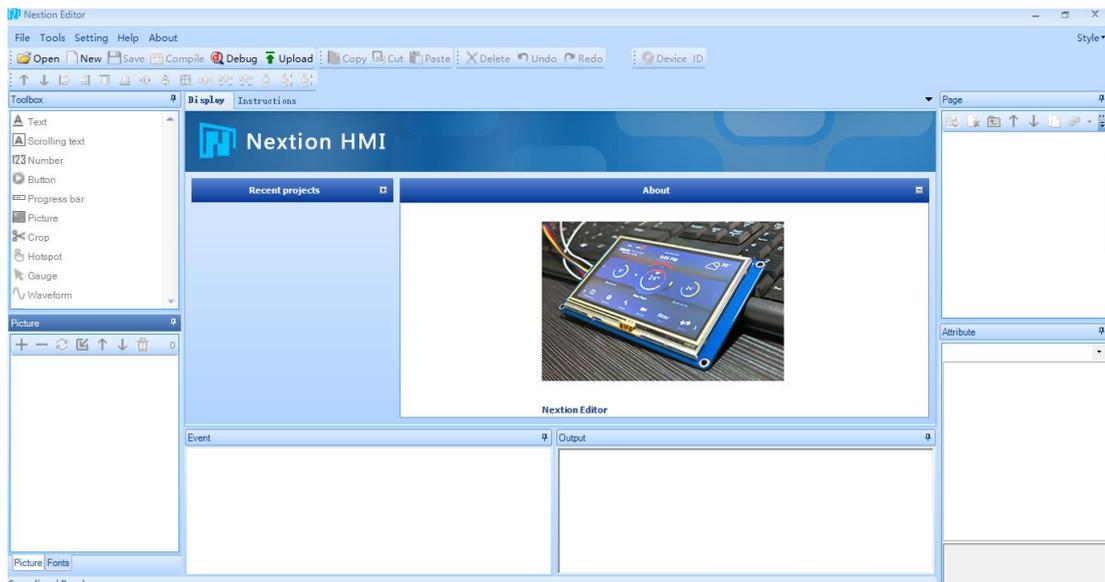
#### 4.10.2 Software para el HMI

El software de programación para la pantalla Nextion a emplearse, debe ser descargado de la página oficial como se muestra en la figura 67 en la pestaña "Download" donde se encuentra el enlace de descarga del software Nextion Editor, que permitirá realizar el diseño de la interfaz HMI.



**Figura 68: Página oficial de Nextion Editor**

El entorno de programación para la interfaz se la presenta en la figura 68, en donde se puede visualizar que es un entorno intuitivo y tiene características similares a las interfaces industriales.



**Figura 69: Entorno de programación para la pantalla Nextion**

## 4.11 Programación y Parametrización del PLC Controllino

### 4.11.1 Grafcet

En esta etapa del diseño se detallará el grafcet de la ingeniería básica con con etiquetas para los distintos elementos, el grafcet nivel dos ayuda de gran manera a la implementación del código en el PLC Controllino.

A continuación se detallarán las etiquetas de entradas tanto externas como internas desde la pantalla Nextion y salidas del PLC.

**Tabla 42.**  
**Etiquetas de las entradas del PLC Controllino**

Etiqueta	Función
A0	Sensor de temperatura
A1	Sensor de Puerta
A2	Sensor de Nivel
A4	Sensor de Humedad

**Tabla 43.**  
**Etiquetas de las entradas desde la pantalla Nextion al PLC**

Etiqueta	Función
B0	Botón de inicio del proceso
B1	Botón que permite navegar hacia la pantalla de Parámetros
B2	Botón de reanudar proceso
B5	Botón de reset del proceso

**Tabla 44.**  
**Etiquetas de las salidas del PLC Controllino**

Etiqueta	Función
D0	Ventilador
D1	Luz verde
D2	Luz roja, zumbador
D4	Humidificador
D5	Resistencia de calor
D6	Activación de volteo del motor
D7	Activación de volteo del motor

#### 4.11.1.1 Programación del menú de selección

Para lograr una correcta organización del programa el código se lo realizó distribuido por sentencias Switch Case que permite agilizar la toma de decisiones múltiples, es decir ya que el sistema de incubación requiere de varios parámetros en su etapa de funcionamiento se ha decidido por la opción de separar por casos las etapas de desarrollo antes de los primeros 18 días y después de ellos.

```
switch(var)
{
  case 1:
    PI1();
    humedad1();
    volteo1();
    nivel();
    porcentajevalor();
    break;
  case 2:
    PI2();
    humedad2();
    volteo2();
    nivel();
    porcentajevalor();
    break;
  case 3:
    final();
    break;
}
```

**Figura 70: Funciones creadas en la programación**

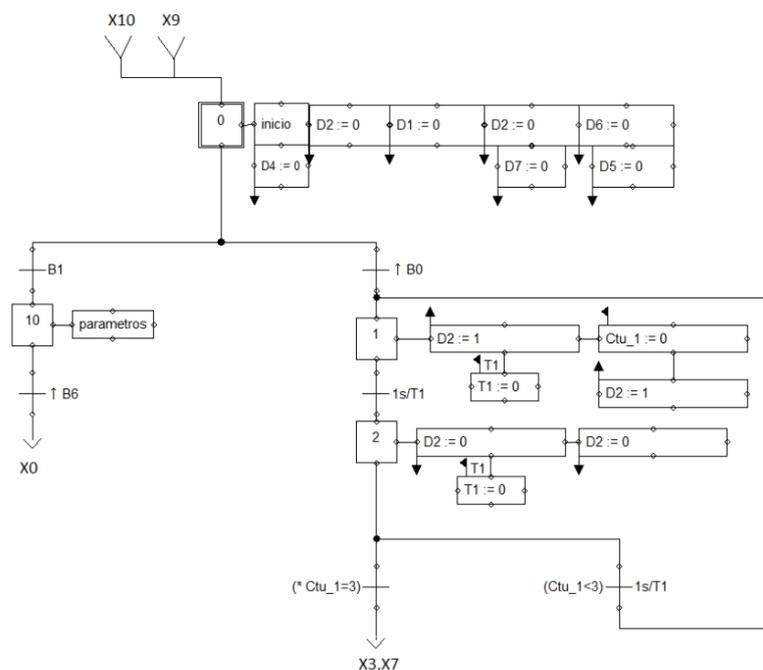
En la figura 69 se puede visualizar las funciones que se han creado para cada parámetro a controlar (PI1, PI2, humedad1, humedad2, volteo1, volteo2, nivel, porcentajevalor, final) cada función se la detallará a continuación:

- **PI1 y PI2:** Son las funciones que se encargaran del control de temperatura, tanto en la primera etapa antes de los 18 días como de la segunda etapa hasta los 21 días.

- **Humedad1, Humedad2:** Son las funciones que permiten controlar la humedad relativa del sistema en las dos etapas de incubación.
- **Volteo1, volteo2:** Son las funciones que permiten el volteo en la primera etapa y en la segunda etapa se desactiva el volteo.
- **Nivel:** Es la función que indica el nivel mínimo de agua dentro de la bandeja para que pronto sea completada.
- **Porcentajevalor:** Es la función que tanto en la primera etapa como la segunda da un resultado de la etapa en la que se encuentra el sistema de incubación hasta llegar al 100%.
- **Final:** es la función que inicializa todos los parámetros para que el sistema de nuevo sea activado para una nueva incubación.

#### 4.11.1.2 Grafcet etapa de reseteo

En la figura 70 se visualiza el grafcet nivel 3 para la programación del PLC que indica como el sistema se resetea con señales luminosas y sonoras por tres ocasiones indicando que está posicionando las bandejas para poder iniciar con cualquier acción de control.



**Figura 71: Diagrama Grafcet nivel tres reseteo del sistema**

#### 4.11.1.3 Grafcet de las etapas de incubación.

En la figura 71 se puede visualizar las dos etapas de incubación antes de los 18 días y posterior a ellos, en cada etapa se declara funciones de temperatura, humedad, volteo y nivel, después de cumplir con el proceso el sistema retornará al estado 0 de inicio.

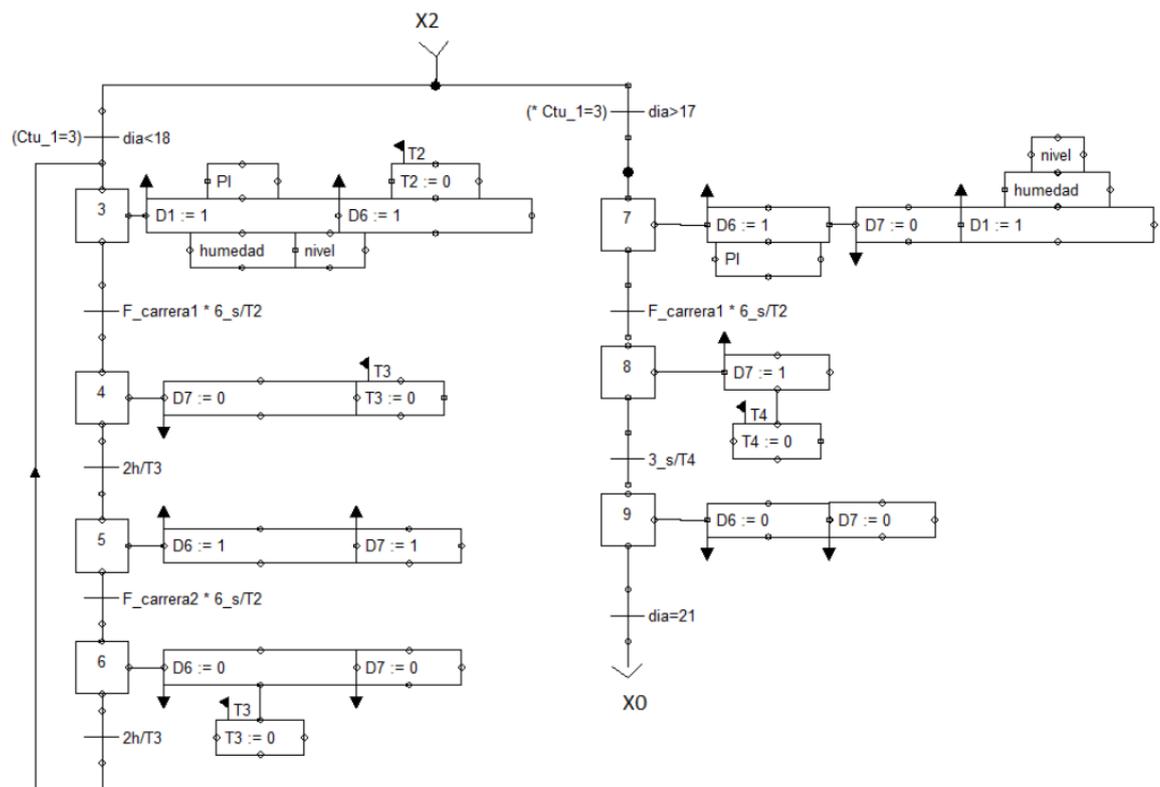
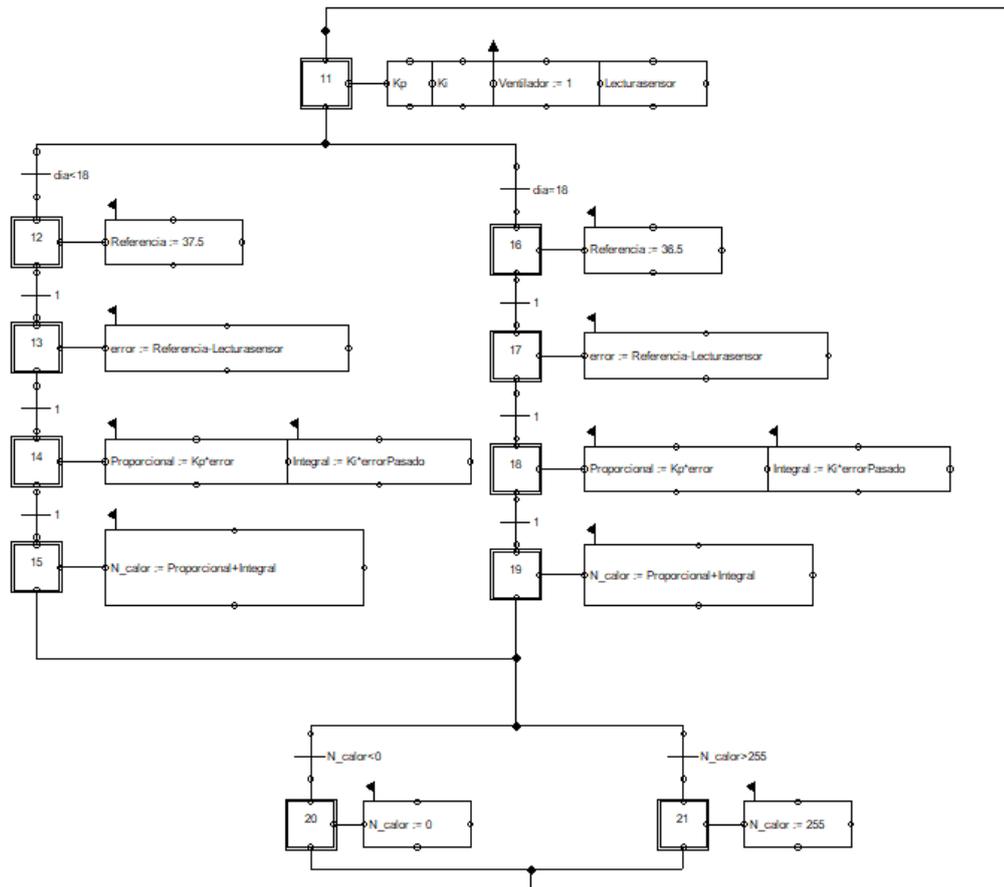


Figura 72: Diagrama Grafcet nivel tres dos etapas de incubación

#### 4.11.1.4 Grafcet del control de temperatura

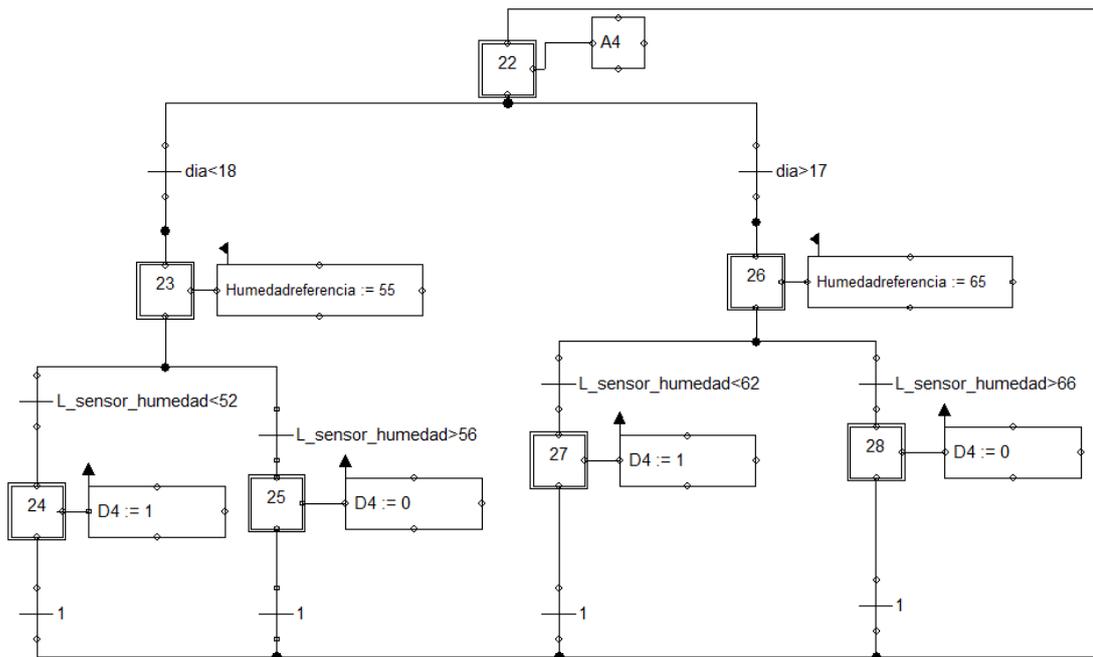
Para la implementación del control de temperatura se presenta el diagrama grafcet nivel tres de la figura 72 en donde se visualiza la acción de control proporcional e integral (PI). Cabe recalcar que si la señal PWM del PLC sobrepasa los valores menores a 0 la señal de control es igual a cero y si la señal sobrepasa valores mayores a 255 la señal de control es igual a 255.



**Figura 73: Diagrama de Grafset nivel tres control PI**

#### 4.11.1.5 Grafset del control de humedad

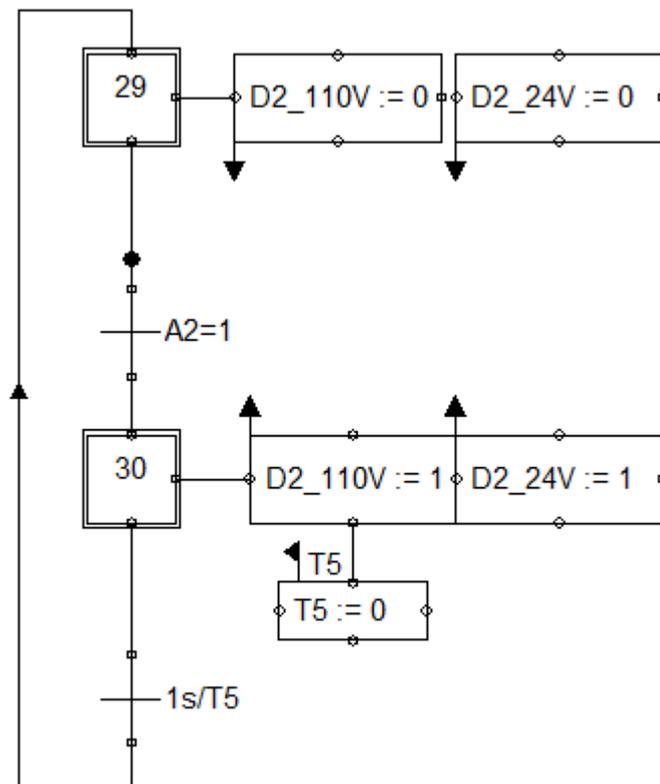
Para la programación del control de humedad de igual manera se presenta dos etapas, la primera compara el valor de referencia para los primeros 18 días en donde si la humedad es menor a 52% acciona la niquelina que calienta el agua y si supera el valor de 56% la apaga, básicamente realizando una acción de control on-off con histéresis.



**Figura 74: Diagrama Grafset nivel tres control de humedad relativa**

#### 4.11.1.6 Grafset del control de nivel

Para el grafset de control de nivel se tiene el diagrama de la figura 74, en donde se puede visualizar el sensor de nivel que permite monitorear la mínima presencia de agua en la bandeja ya que su salida es normalmente cerrada o abierta, de presentarse una señal de que el agua está por debajo de su nivel mínimo, se accionará la luz piloto roja y el zumbador, hasta recobrar el nivel requerido.



**Figura 75: Diagrama Grafset nivel tres control de nivel de agua**

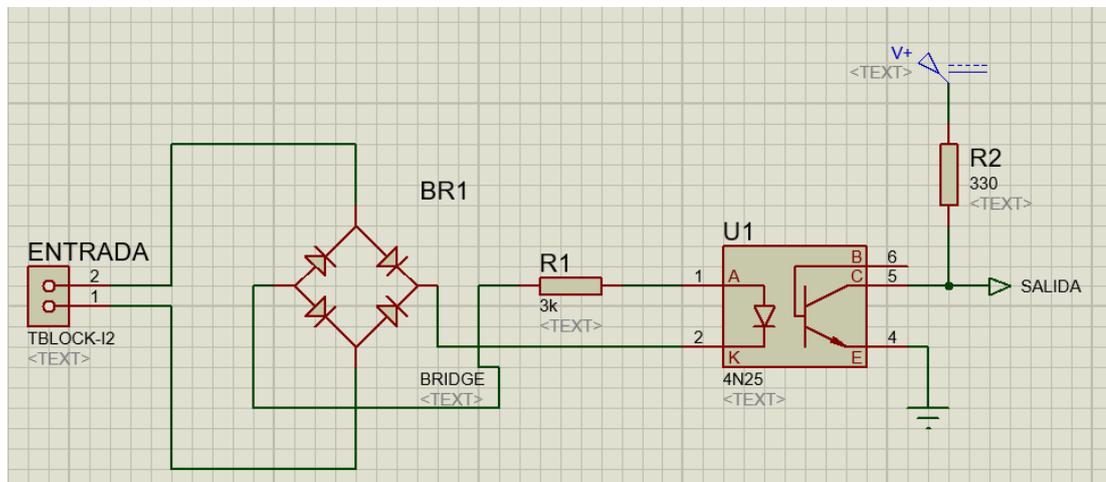
#### 4.11.2 Identificación de la planta

Para la identificación de la planta se utilizó un pequeño código implementado en el software Arduino IDE, adicionalmente con un circuito de cruce por cero que permitieron tomar una serie de datos que se importaron a Matlab.

El actuador calorífico al ser de un voltaje de alimentación de 120 V, se lo prendió a un 30% de su voltaje para esperar a que la planta se estabilice y así poder obtener todos los datos voltaje de entrada vs temperatura.

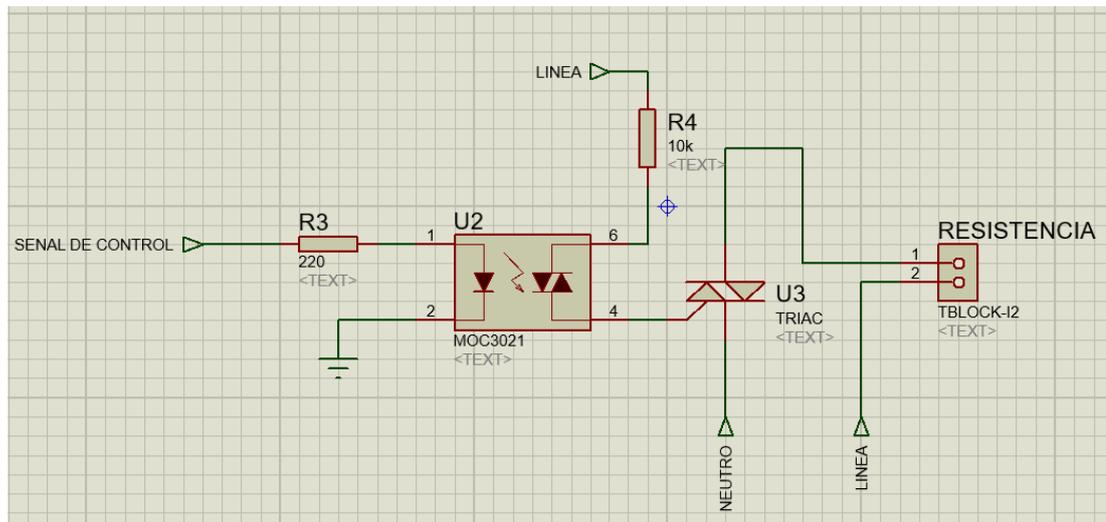
#### 4.11.2.1 Circuito de Cruce por cero

Para el circuito de cruce por cero se ha desarrollado la simulación de un circuito mediante el software Proteus como indica la figura 75, donde se puede visualizar una bornera de entrada para la señal alterna, rectificando la señal a través de un puente de diodos y la misma ingrese al integrado 4n25 que generará un pulso de un cero lógico cada ocasión que la señal de alimentación cruce por cero en el pin de salida.



**Figura 76: Circuito de Cruce por cero**

Una vez armado el circuito de la figura 76, se procede a diseñar un circuito de potencia para activar el actuador calorífico con la señal de salida desde el Controllino por cada detección del cruce por cero que ingrese al mismo.



**Figura 77: Circuito de potencia con optocoplador**

Por otro lado, para lograr la adquisición de los datos de la planta se necesita implementar un código en arduino IDE como se muestra en la figura 77, donde se puede visualizar en las primeras líneas las declaraciones de las librerías necesarias para conectar el Controllino con el computador, básicamente se declara la entrada del sensor de temperatura y se la imprime a través del puerto serial para tomar los datos de la planta.

Una vez cargado el código de la figura 78 en el Controllino se procedió a obtener los siguientes datos de la planta como nos indica la figura 79 donde se puede visualizar las diferentes temperaturas que se tuvo en un lapso de tiempo de 30 minutos aproximadamente en donde ya se estabilizó la planta.

```

#include <SPI.h>
#include <Controllino.h>
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <DHT.h>
# define pindata A0
OneWire ourWire(pindata);
DallasTemperature temperatura(&ourWire);

void setup() {
  Serial.begin(9600);

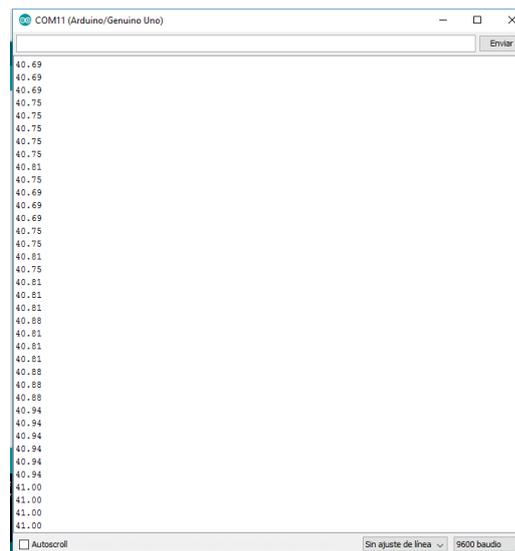
  pinMode(A0, INPUT);
  temperatura.begin();
}

void loop() {

  temperatura.requestTemperatures();
  float val=temperatura.getTempCByIndex(0);
  Serial.println(val);
}

```

**Figura 78: Código para obtención de los datos de la planta**

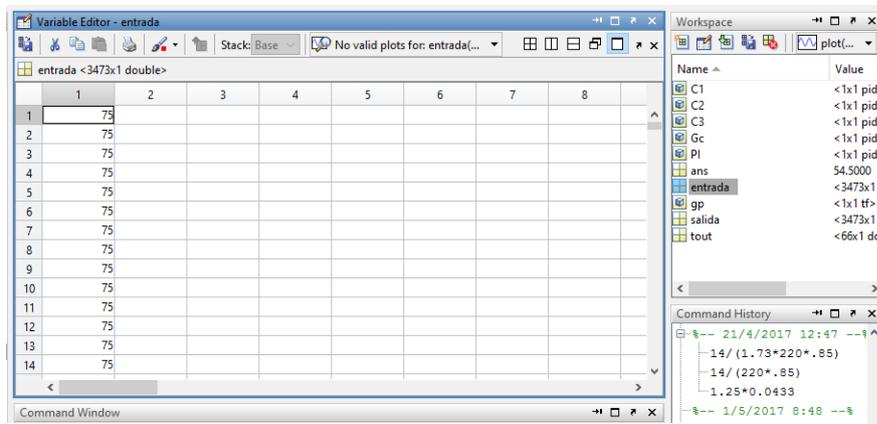


**Figura 79: Datos de temperatura obtenidos en monitor serie de Arduino IDE**

#### 4.11.2.2 Diseño del controlador en Matlab

Para un correcto diseño del controlador mediante el software de Matlab se ha realizado la toma de datos de los circuitos descritos en la sección (circuito

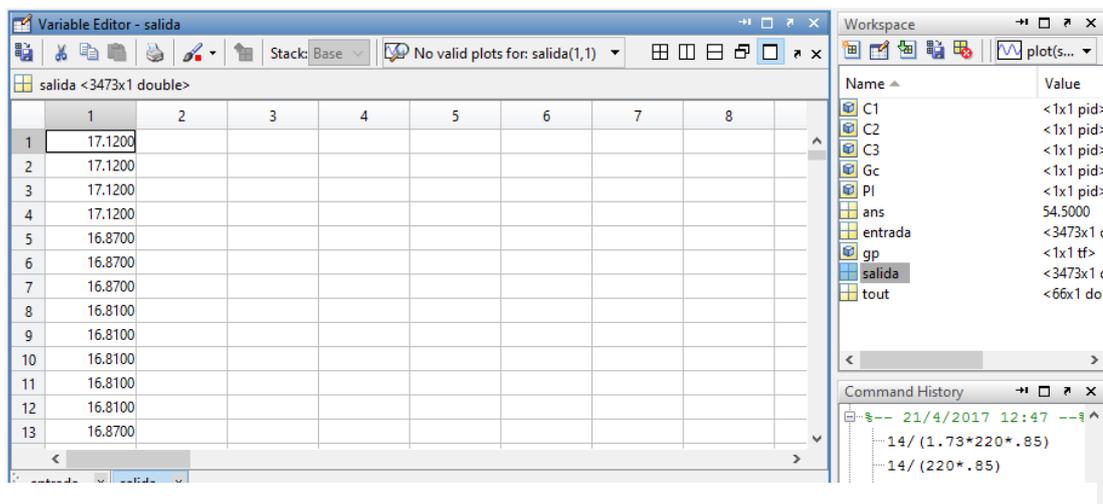
cruce por cero, circuito de potencia con optocoplador), para lo cual se tomó como referencia un valor de entrada step como se indica en la figura 79, y se almacenó los datos en el Workspace de Matlab con el nombre de entrada.



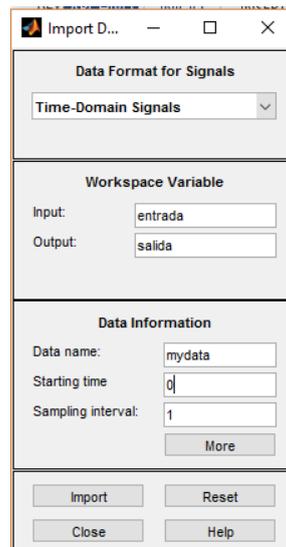
**Figura 80: Vector de entrada en el Worskpace de Matlab**

A continuación se presenta los valores obtenidos de los cambios de temperatura a su salida que se obtuvieron

Una vez se tenga los valores mencionados se abre la función Ident de Matlab y se selecciona la opción Time Domain Signals donde se importa los valores de entrada y salida del sistema como se muestra en la figura 81.

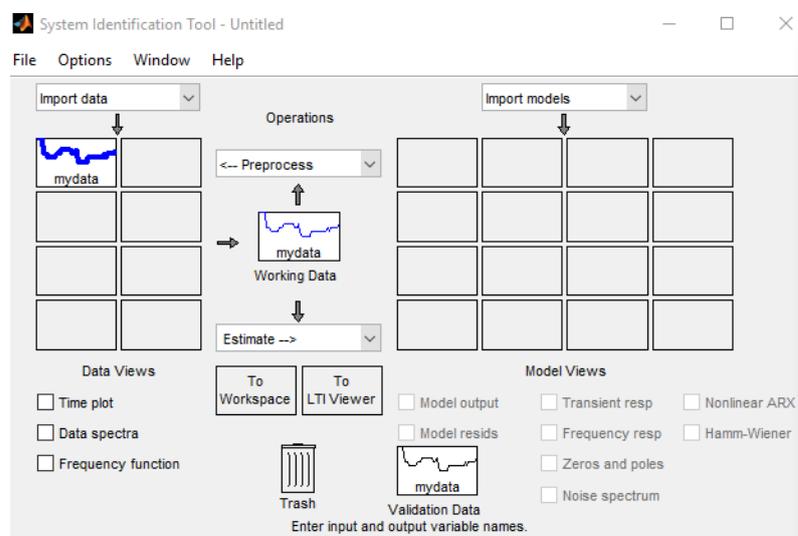


**Figura 81: Datos de salida de la planta (temperaturas)**

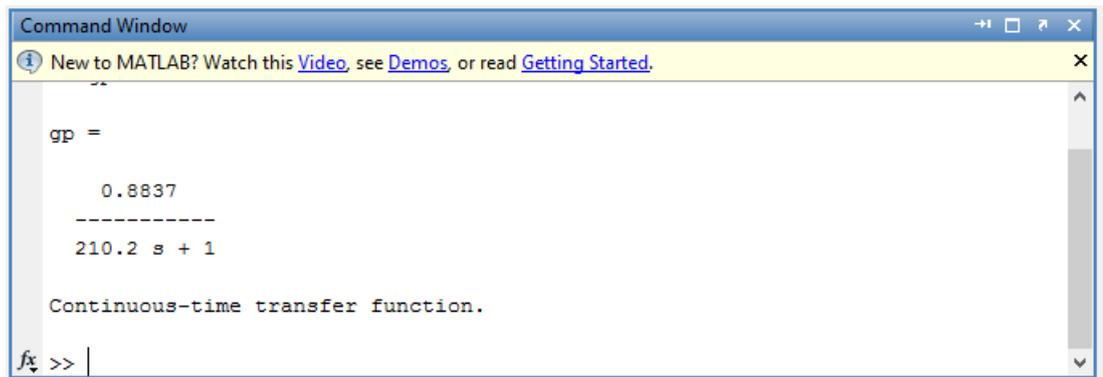


**Figura 82: Importación de los datos de entrada y salida obtenidos**

Luego de haber importado los datos de entrada y salida figura 82, se procede a determinar la función de transferencia como se indica en la figura 83.



**Figura 83: Datos importados para la identificación de la planta**



```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

gp =

    0.8837
-----
210.2 s + 1

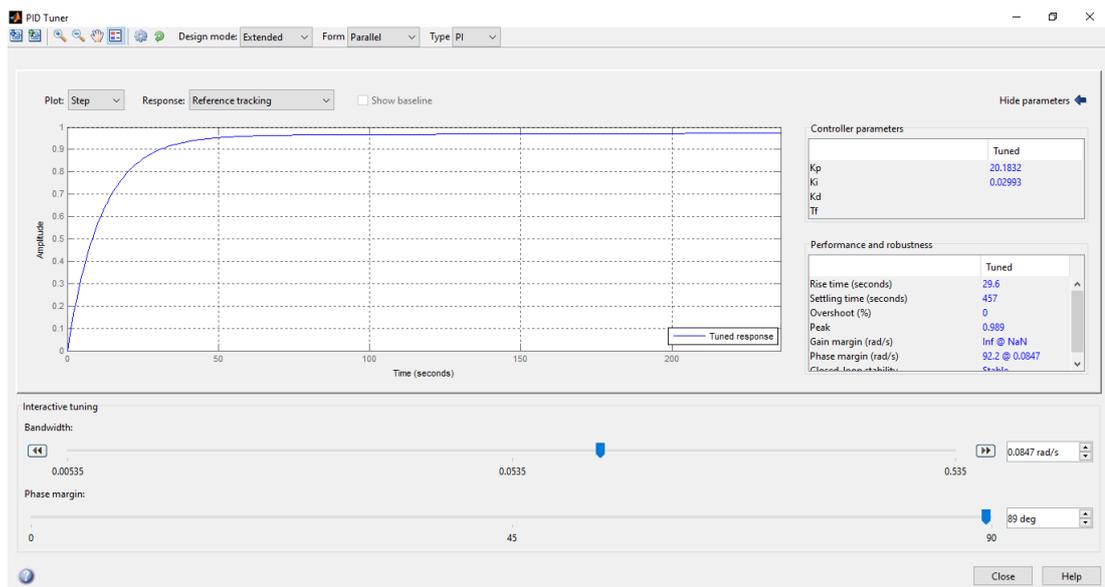
Continuous-time transfer function.

fx >>

```

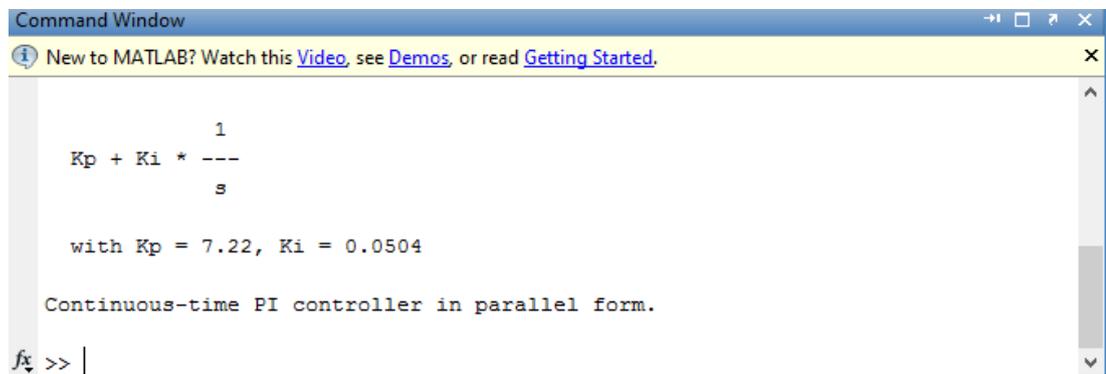
**Figura 84: Función de transferencia obtenida**

Una vez obtenida la función de transferencia se procede a la sintonización del controlador mediante la herramienta pidtool de Matlab como se muestra en la figura 84, donde se puede determinar el comportamiento del sistema.



**Figura 85: Interfaz de la función pidtool de Matlab**

Una vez sintonizado se obtiene el controlador con las constantes  $K_p$ , y  $K_i$ , como se muestra en la figura 85, para ser ingresado en la programación del Controllino.



```

Command Window
New to MATLAB? Watch this Video, see Demos, or read Getting Started.

      1
Kp + Ki * ----
      s

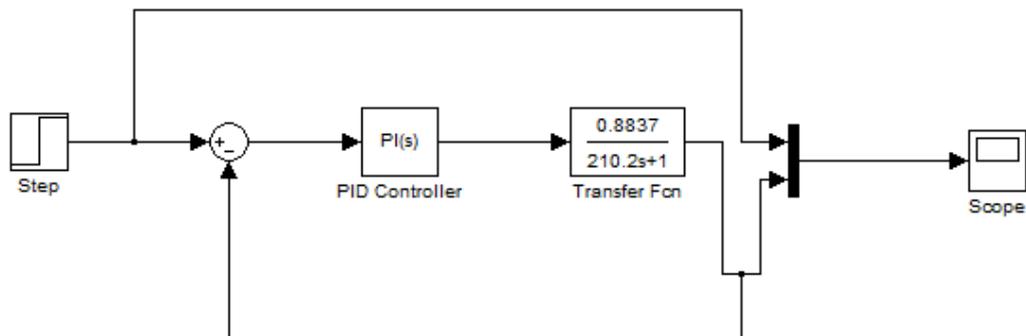
with Kp = 7.22, Ki = 0.0504

Continuous-time PI controller in parallel form.

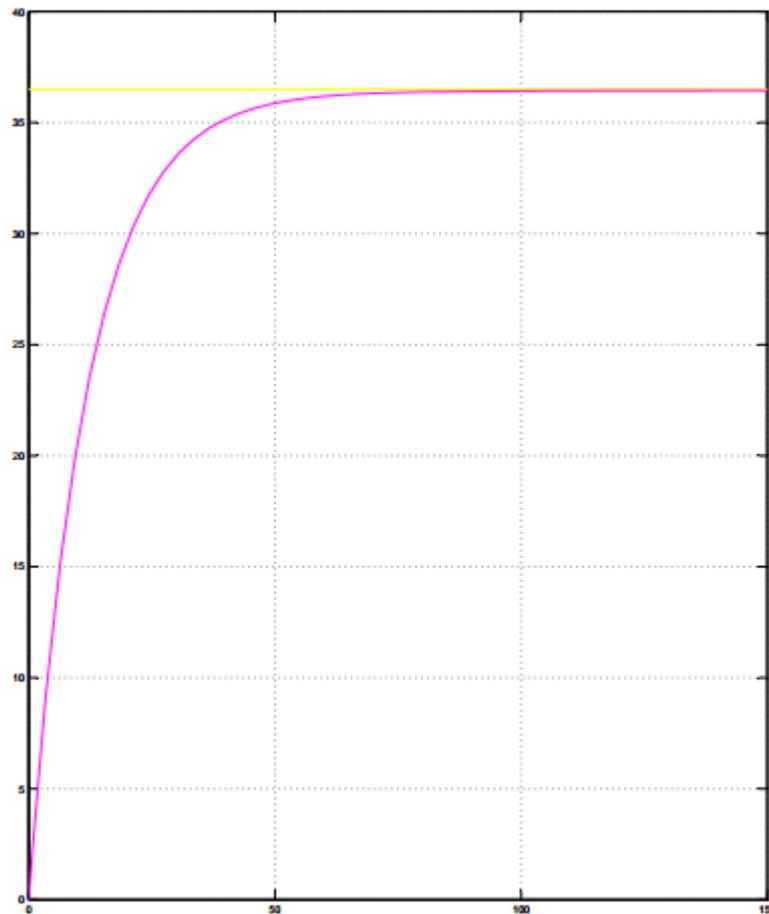
fx >> |
  
```

**Figura 86: Valores obtenidos de las constantes del controlador.**

Finalmente se simula usando el programa simulink figura 86, con los datos obtenidos verificando así la respuesta de la señal de control figura 87.



**Figura 87: Simulación del controlador usando Simulink**



**Figura 88: Señal de Control**

#### **4.12 Desarrollo y configuración del HMI**

Para el desarrollo de la interfaz HMI del sistema de incubación se ha tomado en cuenta la metodología de diseño llamada Guía GEDIS, la cual está enfocada para ambientes industriales en la supervisión y monitoreo de datos. Como referencia de diseño se ha tomado la primera fase de la GEDIS que su estructura se basa en la descripción de la arquitectura a emplearse, uso del color, fuentes, simbología y navegación entre pantallas.

El consejo para la fase de desarrollo de las pantallas es el seguir este enfoque, esto es, generar pantallas tan pronto existan elementos suficientes

para iniciarlas, ya que de esta manera se puede ir depurando los prototipos y teniendo retroalimentación del producto elaborado (Pere Ponsa, 2009).

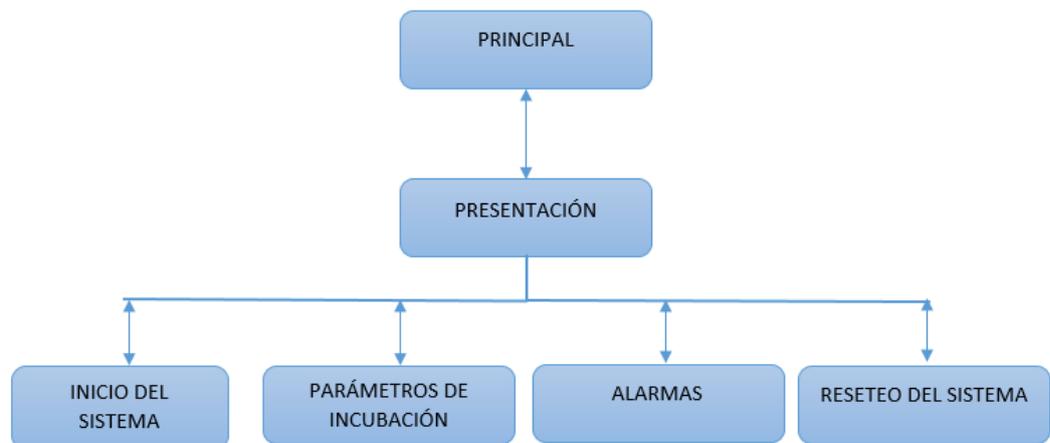
#### 4.12.1 Funciones del HMI

Las funciones primordiales para la elaboración del HMI del sistema de incubación son:

- Monitoreo de las variables de humedad y temperatura en tiempo real.
- Capacidad de reconocer eventos y alarmas del sistema.
- Supervisión de los días de incubación del sistema.
- Permitir el reseteo del sistema.

#### 4.12.2 Arquitectura del HMI

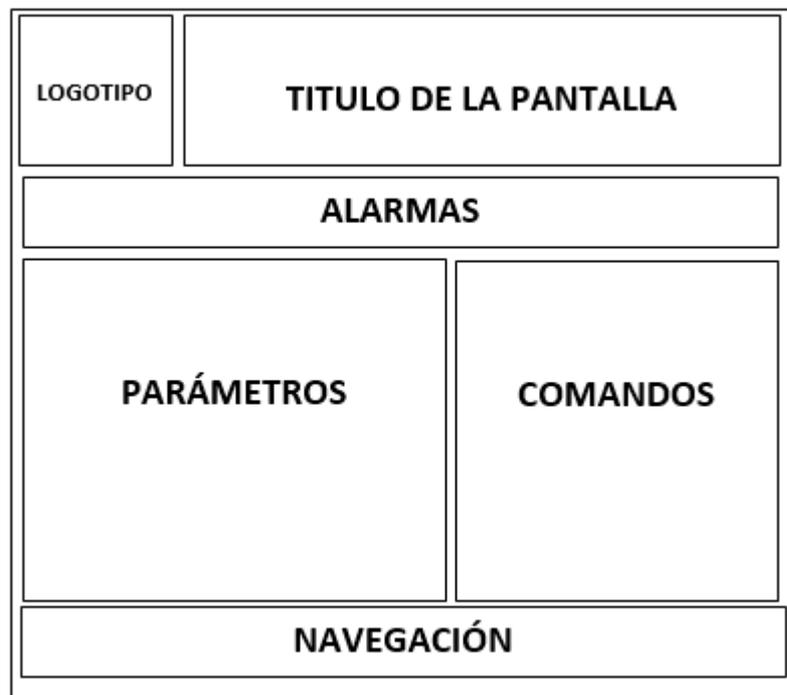
La arquitectura del HMI sirve para iniciar con el proceso de desarrollo del diseñador donde debe establecerse un mapa que definirá las diferentes pantallas con las que contará el sistema figura 88, para que el operador pueda interactuar.



**Figura 89: Arquitectura y navegación entre pantallas**

#### 4.12.3 Distribución de espacios

La interfaz HMI debe presentar una distribución ordenada bajo las recomendaciones de la guía Gedis por lo cual se presenta la distribución a continuación:



**Figura 90: Distribución de espacios del HMI**

En la figura 89 se puede apreciar la recomendación en la distribución de espacios que nos brinda la guía Gedis como que las interfaces deben presentar un logotipo de la empresa, nombre de la pantalla, alarmas y los distintos parámetros o comandos en la parte central, para finalmente tener un menú de navegación en la parte inferior de la pantalla.

#### 4.12.4 Uso del color en el HMI

Para el uso del color en la Interfaz se presenta la tabla 45 que resume los colores empleados:

**Tabla 45.**  
**Uso de color en el HMI**

USO DE COLORES		
Denominación	Representación	Descripción
Prender y restear el sistema		<p>Color verde: para puesta en marcha de cualquier sistema.</p> <p>Color rojo: para el paro o reseteo de algún proceso.</p>
Indicadores de estado		<p>Color verde: para indicar que el sistema está en marcha.</p> <p>Color rojo: para indicar que el sistema está parado.</p>
Alarmas		<p>Color gris: cuando la alarma este inactiva.</p> <p>Color rojo: cuando la alarma del sistema esté activa.</p>

#### 4.12.5 Simbología del HMI

Para la simbología empleada se ha tratado de escoger iconos representativos y que sean de fácil entendimiento para los operarios del sistema como se indica en la tabla 46.

**Tabla 46.**  
**Simbología del HMI**

SIMBOLOGÍA		
Denominación	Representación	Descripción
Encendido del sistema		Simbología para el botón de inicio ya sea al proceso desde cero o en caso de reanudar el proceso desde la última ocasión que fue apagado.
Reseteo del sistema		Simbología para el botón permite de reseteo del sistema.
Indicadores de parámetros		Simbología para los indicadores de temperatura y humedad.
Tiempo de incubación		Simbología para indicar el porcentaje de desarrollo de crecimiento del pollito.
Indicadores de estado		Simbología para indicar el estado correcto de los sensores.
		Simbología para indicar una señal incorrecta dentro del proceso.

**Información de parámetros**



Simbología para ingresar a la ventana de información de parámetros de incubación.

**Alarmas**



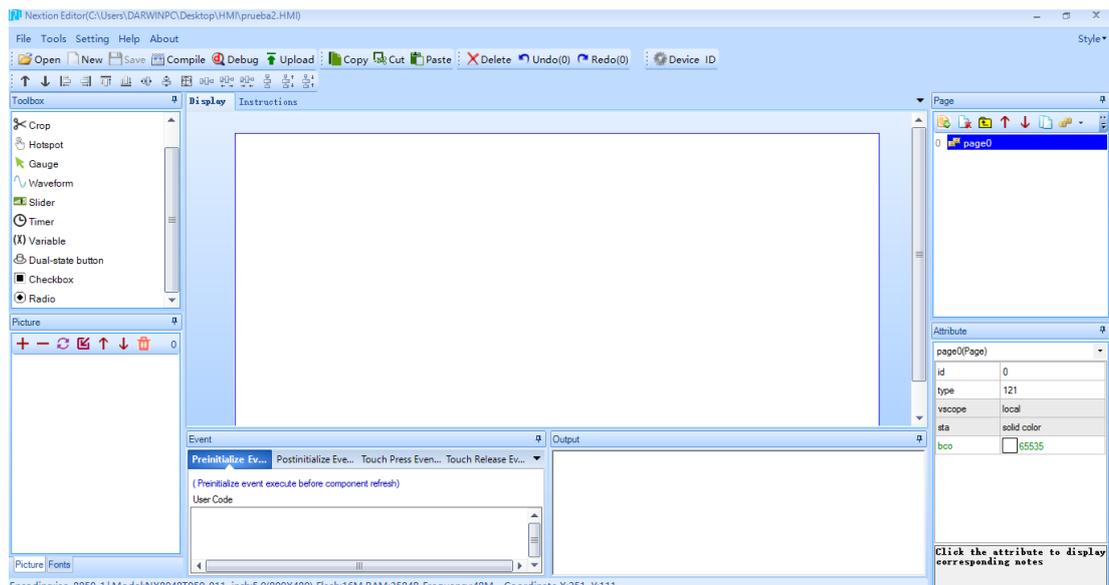
Simbología para los sistemas de alarmas.

#### 4.12.6 Configuración del HMI en Nextion Editor

EL software Nextion Editor posee un entorno gráfico con simbologías conocidas por los diseñadores HMI, las configuraciones principales para el desarrollo de las ventanas HMI que servirán para la navegación del sistema se basan en los siguientes pasos:

- Selección del modelo de la pantalla empleada (Tamaño en pixeles).
- Añadir el tipo de letra a emplearse.
- Añadir la lista de imágenes a utilizarse.
- Seleccionar acciones del panel Toolbox para generar las acciones necesarias del sistema.

Una vez finalizado las configuraciones necesarias se muestra el entorno gráfico de la figura 90 donde se puede insertar las acciones que se desea controlar, páginas necesarias, etc.



**Figura 91: Entorno Gráfico de la interfaz HMI**

El entorno de programación resulta muy útil y simple al momento de diseñar una interfaz HMI, ya que solo se tiene que arrastrar las acciones de la barra del Toolbox y programar las acciones necesarias.

#### **4.12.7 Diseño y descripción de las HMI**

##### **4.12.7.1 Ventana Principal de presentación**

En la figura 91, se detalla la pantalla principal con una imagen de fondo, donde se puede visualizar un botón para ingresar a la pantalla de inicio de proceso.



**Figura 92: Pantalla principal**

#### **4.12.7.2 Ventana de Inicio de Proceso**

La ventana de inicio de proceso detalla una interfaz donde se puede visualizar el botón que dará inicio al proceso o de ser necesario el botón que permita navegar entre los parámetros de incubación, además de una opción para poder reanudar el sistema por cualquier fallo de la alimentación o simplemente por desconexión del sistema, esta opción permite reanudar en el estado que se haya quedado de la incubación.



**Figura 93: Pantalla de inicio de proceso**

#### **4.12.7.3 Ventana de parámetros de incubación**

En la ventana de parámetros de incubación se puede visualizar las variables controladas como temperatura, humedad, tiempo de incubación y porcentaje de acuerdo a la etapa que se encuentre.

Además de presentarse los avisos de alarmas, que comenzarán a titilar cada vez que se presente cualquier tipo de alarma.

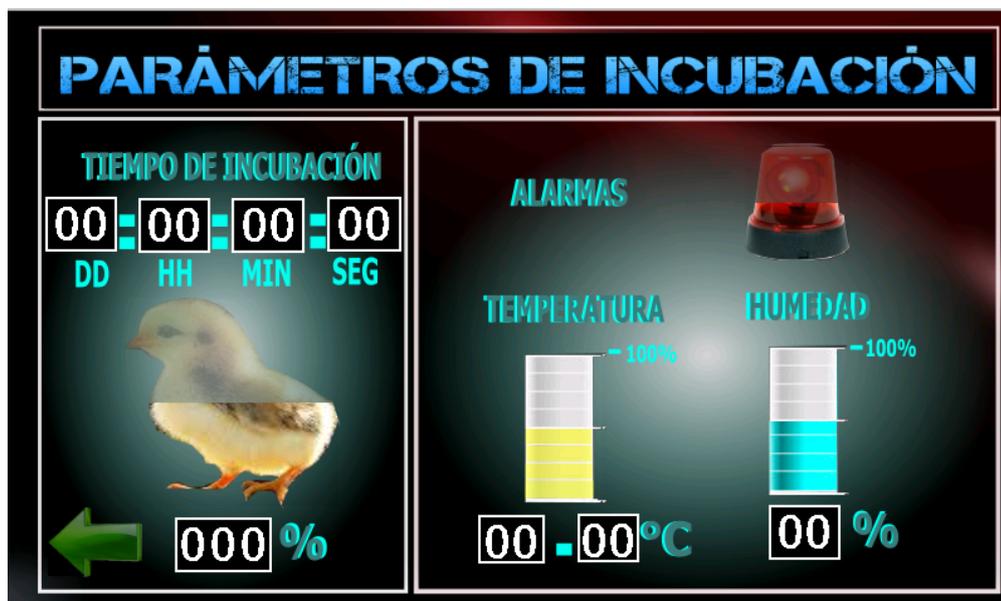


Figura 94: Pantalla de parámetros de incubación

De ser el caso necesario en la pantalla de parámetros de incubación se tiene la opción de regresar pero una vez ya haya sido activado el proceso no se podrá volver a presionar el botón “iniciar Proceso” ya que se encuentra bloqueado, permitiendo una nueva opción de configuración de ser el caso que permitirá al sistema ser reseteado, volviendo a los parámetros iniciales.



Figura 95: Pantalla donde se encuentra desactivada la opción de iniciar proceso y activada para ir a la página de reseteo del sistema

#### 4.12.7.4 Ventana de Reseteo del sistema

La ventana que permitirá reiniciar el sistema se detalla en la figura 95, la cual se presentará una vez que se presione el icono de configuración desde la pantalla descrita en la figura 94, permitiendo activar la nueva opción de resetear el sistema a través del botón rojo.



**Figura 96: Pantalla de reseteo del sistema**

#### 4.12.7.5 Ventana de Alarmas

La pantalla de alarmas se presentará una vez se presione en la pantalla de parámetros de incubación el icono de alarma, llegando a la ventana siguiente de la figura 96, donde se presentan las siguientes alarmas.



Figura 97: Ventana de Alarmas

## CAPÍTULO V

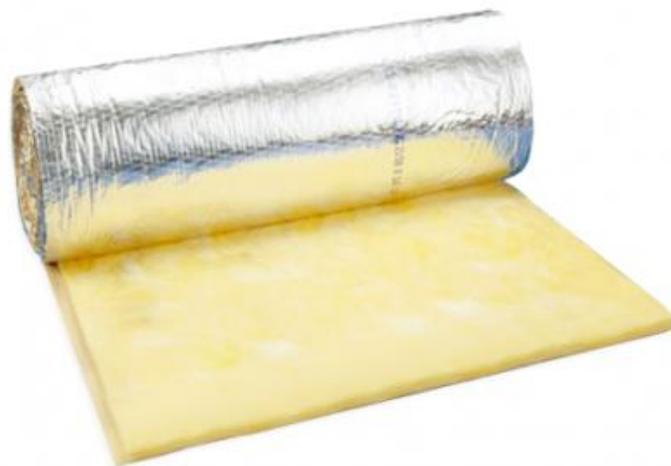
### 5 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA

Finalmente, después de haber realizado el respectivo dimensionamiento de los elementos del tablero de control y la selección de cada elemento al igual que su respectiva programación se procederá a implementar el sistema.

La implementación se desarrollará en la estructura proporcionada por la empresa y se realizará el respectivo sistema de control.

#### 5.1. Estructura metálica

El aislamiento térmico que se ha empleado en la estructura interna dentro del sistema de incubación para lograr una retención del calor generado y evitar que se pierda, se llama la lana de vidrio figura 97, este tipo de aislante es económico, más liviano y de muy baja conductividad térmica por lo cual se convierte en el más común para sistemas térmicos.



**Figura 98: Lana de vidrio**

Como el sistema de incubación ha sido implementado en material reciclable, adaptándose sistemas necesarios para la incubación, por lo tanto en la figura 98 y la figura 99, se puede apreciar la carcasa empleada de un horno de cocina eléctrica utilizado y adaptado para el proceso al igual que el aislante empleado para el sistema.



**Figura 99: Carcasa externa reciclable de un horno eléctrico adaptado al sistema de incubación.**



**Figura 100: Estructura implementada con aislante de lana de vidrio**

## 5.2. Montaje del sistema de volteo (bandejas)

Para la implementación del sistema de volteo se lo realizo en el material de tol galvanizado, ya que este material soporta la temperatura y humedad suficiente para el proceso de incubación, en la figura 101 se puede apreciar cómo está elaborado el sistema y montado con las bandejas para los huevos de plástico reforzado.



**Figura 101: Elaboración de los soportes para las bandejas en el sistema de volteo**



**Figura 102: Montaje de bandejas sobre el sistema de volteo**

### 5.3. Montaje de Sensores

Para la instalación de los distintos sensores en el sistema ya se detalló en la ingeniería básica cual sería su ubicación, por lo cual a continuación se presentan una serie de imágenes donde se podrá apreciar el montaje de cada elemento.



**Figura 103: Instalación del sensor de temperatura**



**Figura 104: Instalación de los fines de carrera del sistema de volteo**



**Figura 105: Instalación del sensor de humedad**



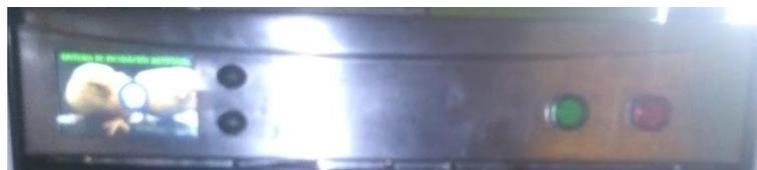
**Figura 106: Instalación del sensor de nivel en la bandeja de agua**

#### 5.4. Montaje del panel operador

Para la realización del montaje del panel de operador Nextion se tuvo que verificar la conexión serial entre el PLC Controllino y la pantalla para que cumpla con las características del proceso, una vez verificados estos parámetros se instaló como se puede visualizar en las figura 106.



**Figura 107: Montaje del panel Nextion**



**Figura 108: Pantalla Nextion montada**

#### 5.5. Montaje de la repisa de madera

La repisa fue diseñada para ser acoplada con la estructura metálica donde están ubicadas las bandejas con los demás elementos de control como se indica en la figura 108 y figura 109, fue elaborada de madera con divisiones en la parte inferior para poder colocar cualquier elemento adicional del sistema.



**Figura 109: Recorte de secciones de madera para la repisa**



**Figura 110: Acople con la carcasa que contiene las bandejas y la repisa**

## 5.6. Montaje de los actuadores

Para realizar el montaje de los distintos elementos que permiten transformar las señales eléctricas en activaciones y poder generar un efecto sobre el proceso de incubación se detallan a continuación; en la figura 110 se puede apreciar la instalación del motor para el sistema de volteo, en la figura 111 se instaló el ventilador y la resistencia calorífica para poder repartir el calor uniformemente, en la figura 112 se puede apreciar la instalación de la resistencia para generar la humedad dentro del proceso.



**Figura 111: Instalación del motor de volteo**



**Figura 112: Instalación del ventilador y resistencia calorífica**

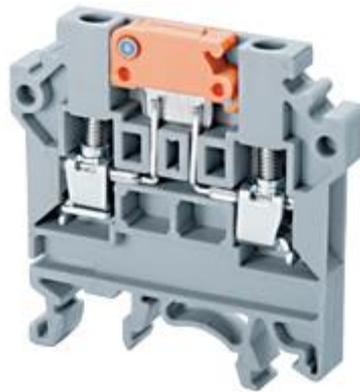


**Figura 113: Instalación de la resistencia para generar la humedad**

### **5.7. Montaje del tablero de control**

Para la implementación del tablero de control se ha puesto en práctica el uso de la norma internacional ISO/ IEC 24702 que es empleada para la automatización industrial, control de procesos, básicamente menciona que todas las conexiones deben estar aseguradas contra cualquier aflojamiento accidental, la correcta identificación y codificación de los conductores, a continuación se detallan las características empleadas de la norma.

Se debe usar borneras o clemas en conexiones de circuitos de maniobra, las borneras empleadas se visualizan en la figura 113 para realizar puntos de conexiones comunes, cabe recalcar que la conexión de dos o más cables en un mismo borne está prohibida a menos que el borne este diseñado para este tipo de conexión.



**Figura 114: Borneras de conexión para riel DIN**

Se aplica el uso de terminales o punteras figura 114 para los conductores flexibles de conexión, las terminales facilitan y dan una mayor seguridad al momento de realizar una conexión sobre algún elemento del tablero.



**Figura 115: Terminales de conexión para cables eléctricos**

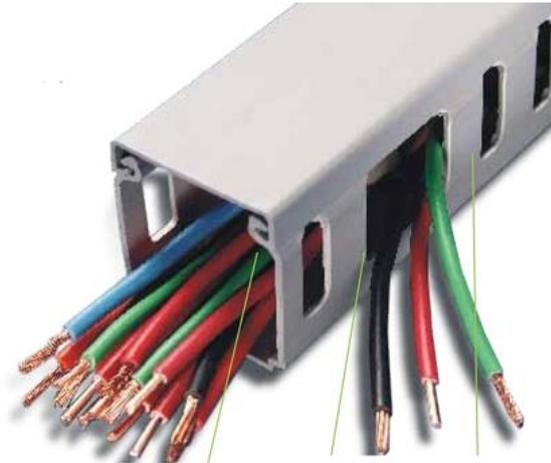
Existen diversos tipos de terminales acorde al tamaño del conductor y conexión que se requiera dar hacia un elemento en específico.

Todos los cables de conexión deben estar plenamente identificados con el uso de etiquetas figura 115 en referencia a los planos eléctricos del sistema, cada punto de conexión debe ser único en su numeración.



**Figura 116: Marcadores tipo anillo para cable**

Los distintos canales por donde serán direccionados los cables en el interior del tablero de control deben ser de un material aislante como se indica en la figura 116, que es un tipo de canaleta ranurada para tener un fácil acceso del cable hacia distintos puntos.



**Figura 117: Canaleta ranurada para cableado del tablero**

Para la parte de conexión de los distintos elementos se debe emplear un código de colores acorde a los sistemas que se estén empleando ya sea control o fuerza, en la tabla 44 se describe el código de colores existentes.

**Tabla 47.**  
**Código de colores para conductores industriales**

<b>COLOR</b>	<b>APLICACIÓN</b>
Azul Claro Negro	Neutros o para circuitos de potencia Conductores activos de circuitos de potencia en corriente alterna y corriente continua.
Rojo	Circuitos de mando en corriente continua.
Azul	Circuitos de mando en corriente Alterna.
Naranja	Circuitos de enclavamiento de mando alimentados desde una fuente externa de energía.
Amarillo / Verde	Conductores de protección (Tierra).

Se debe tener en cuenta estos códigos de colores al momento de implementar cualquier tablero de control, además de prohibirse los empalmes entre conductores dentro de las canaletas, para ello existen terminales adecuadas para poder empalmar de ser necesario como se indica en la figura 117.



**Figura 118: Empalmes de conductores con uso de terminales**

En la figura 118, se puede apreciar el tablero de control diseñado donde serán colocados todos los elementos de control del sistema de incubación.



**Figura 119: Tablero de control del sistema de incubación**

En la figura 119, se aprecia la instalación de las canaletas plásticas que permiten conectar de forma correcta los distintos elementos y dar una mayor protección al cable en contra de interferencias que pueden existir en el medio ambiente.

Las canaletas empleadas presentan un ancho de 25 mm y se ha implementado de acorde a la necesidad de conexiones.



**Figura 120: Montaje de las canaletas**

Como ya se mencionó anteriormente en la distribución de los elementos se ha dividido por secciones los elementos en un sector la ubicación de solo

elementos de protección, seguidos de los elementos de control, además de los elementos de alimentación y finalmente los puntos comunes del sistema.

En la figura 121, se puede apreciar la instalación completa del tablero de control.



**Figura 121: Tablero de control implementado**

## **5.8. Desinfección de la máquina**

Para realizar una correcta desinfección de la máquina de incubación fue necesario adquirir un producto llamado “interclin” figura 121, que es un desinfectante a base de aceite de destilación que actúa directamente sobre las bacterias, hongos, virus y ciertas formas de larvas de parásitos.

La dosis de aplicación que se recomienda es una solución de una parte de Interclin en 200 partes de agua, esto quiere decir que por cada litro de agua aproximadamente una porción del líquido de su tapa que viene etiquetada.



**Figura 122: Desinfectante para eliminar cualquier bacteria de la máquina de incubación**



**Figura 123: Limpieza de la máquina con el desinfectante**

### **5.9. Instalación de todo el sistema**

Una vez finalizado todo el montaje de los distintos elementos que componen el sistema se procede a la instalación en el sitio donde va a

funcionar por requerimientos de la empresa el sistema ha sido implementado en un galpón pequeño ya que se recomienda que el sistema se encuentre debidamente cubierto de ser posible en una habitación cerrada con una correcta ventilación ya que como se indicó los embriones están en constante intercambio de oxígeno, para ello se debe realizar las distintas calibraciones necesarias y adaptaciones de instalación para que el sistema funcione como se detalla a continuación.



**Figura 124: Montaje del sistema**



**Figura 125: Sistema de incubación internamente**



**Figura 126: Sistema de incubación vista externa**

## **CAPÍTULO VI**

### **6 PRUEBAS Y RESULTADOS**

Como parte fundamental del presente trabajo, se necesita realizar las pruebas de funcionamiento que son las que permitirán evaluar el desempeño del sistema y poder obtener datos valiosos para cualquier corrección de ser necesaria o para calibrar los distintos sensores.

Parte fundamental es verificar la temperatura como factor de control más importante dentro del sistema ya que de esta depende una buena natalidad dentro de la incubación. Por lo tanto en el presente capítulo se detallará valores obtenidos de dos procesos de incubación cada una de ellos con una duración de 21 días completos sin ningún tipo de interrupción.

#### **6.1 Primera prueba de incubación**

##### **6.1.1 Selección de huevos fértiles**

Para la selección de los huevos fértiles se debe tomar en cuenta todos los parámetros ya descritos en el documento, por lo tanto se vio en la primera prueba de incubación la necesidad de poder obtener huevos que sean de gallo y gallina para poder tener un embrión fértil, por lo cual se procedió a la búsqueda de este tipo de huevos en empresas dedicadas a sistemas de incubación pudiendo notar como factor importante que al ser un mercado al por mayor y el sistema ser un prototipo se dificultó conseguir dicho huevo en las empresas dedicadas.

Como solución se procedió a conseguir huevos de casas o personas que dispongan de huevos fértiles, particularmente en los campos ecuatorianos, logrando obtener los huevos que se muestran a continuación en la figura 126:



**Figura 127: Colocación de los huevos en las bandejas de incubación**



**Figura 128: Huevos insertados en el sistema de incubación**

Cabe mencionar que la primera prueba se realizó con una cantidad de 30 huevos distribuidos dentro de las tres bandejas en los niveles correspondientes.

### 6.1.2 Puesta en marcha del sistema

Una vez colocados los huevos a ser incubados en la primera prueba se procede a dar inicio al proceso teniendo en cuenta de verificar los datos a controlar como lo son temperatura y humedad y las distintas señales de alerta de los sensores de nivel o en caso de abrirse la puerta de incubación:



**Figura 129: Sistema de incubación puesto en marcha**

### 6.1.3 Pruebas de ovoscopia

Una vez iniciado el proceso se procedió a tomar pruebas de ovoscopia en los huevos en diferentes etapas del sistema resumiéndolas en las siguientes tablas e imágenes.

**Tabla 48.**  
**Primera prueba de ovoscopia**

Tiempo de incubación (Días)	Detalle del proceso
7 días	Se recomienda realizar este tipo de pruebas de ovoscopia a los 7 primeros días después de haber comenzado el proceso para poder verificar los huevos fértiles que están desarrollándose y desechar los huevos infértiles de ser el caso ya que no nacerán por ningún motivo.



**Figura 130: Huevo Fértil a los 7 días de incubación**

En la figura 130 se puede visualizar en la prueba realizada a un huevo infértil donde claramente se puede observar totalmente transparente caso contrario al huevo fértil de la figura 129 ya que se puede apreciar ya las arterias que se van formando dentro del huevo.



**Figura 131: Huevo Infértil**

**Tabla 49.**  
**Segunda prueba de incubación**

Tiempo de incubación (Días)	Detalle del proceso
14 días	Es la segunda prueba de ovoscopia que se recomienda realizar para poder visualizar el avance del desarrollo del embrión del huevo, a los 14 días ya se puede notar más claramente las arterias y se nota un huevo mucho más sangrado al observarlo.



**Figura 132: Huevo fértil a los 14 días de incubación**

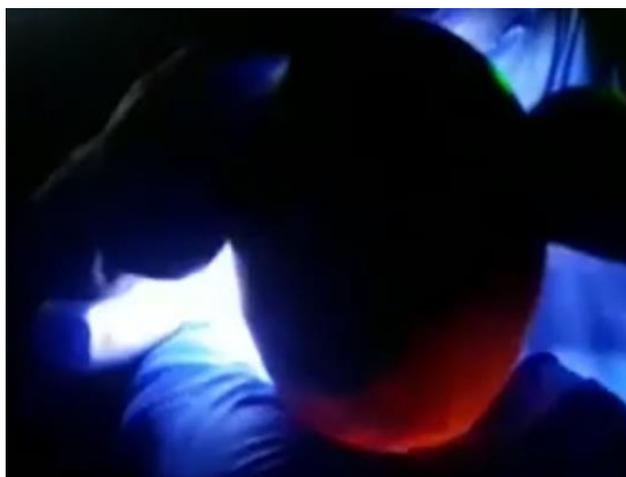
En la figura 132 se puede visualizar otro tipo de huevo infértil en donde ya se detalla en este documento también que un huevo infértil es cuando existe porosidad al momento de realizar la prueba de ovoscopia.



**Figura 133: Huevo infértil a los 14 días de incubación**

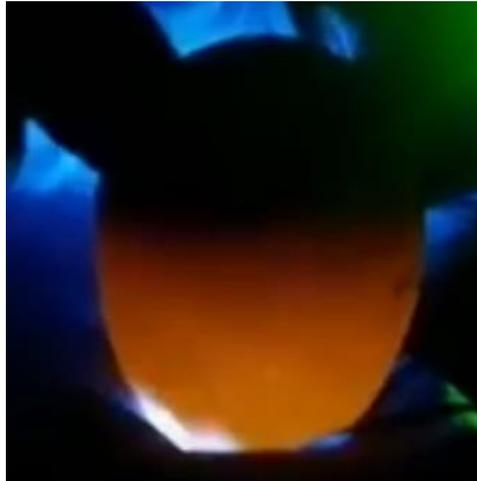
**Tabla 50.**  
**Tercera prueba de ovoscopia**

Tiempo de incubación (Días)	Detalle del proceso
18 días	Es la tercera prueba de ovoscopia se puede visualizar un huevo ya totalmente cubierto como por un manto negro que es el que contiene ya el pollito desarrollado ubicándose listo para su eclosión.



**Figura 134: Huevo Fértil a los 18 días de incubación**

En la figura 134 se puede visualizar el huevo que en los primeros días era infértil y se aprecia claramente como no ha desarrollado sino más bien se ha generado una mancha negra que no es más que la yema ya en descomposición.



**Figura 135: Huevo infértil a los 18 días de incubación**

#### **6.1.4 Día del nacimiento**

Luego de haber pasado por todo un proceso de incubación de 21 días llega el día de nacimiento que puede generarse a partir del día 19 hasta el día 21 en la práctica en el caso de la primera prueba empezaron a nacer a partir del día 21 exactamente.



**Figura 136: Rotura del cascarón para nacimiento del pollito**



**Figura 137: Salida completa del cascarón**

En la figura 137 se puede observar los pollitos que han eclosionado cabe recalcar que una vez nazcan de la incubadora se debe ubicarlos en un lugar con un foco para mantenerlos calientes y que se seque su plumaje



**Figura 138: Resultado Final en la nacedora**



**Figura 139: Huevos que no lograron eclosionar**

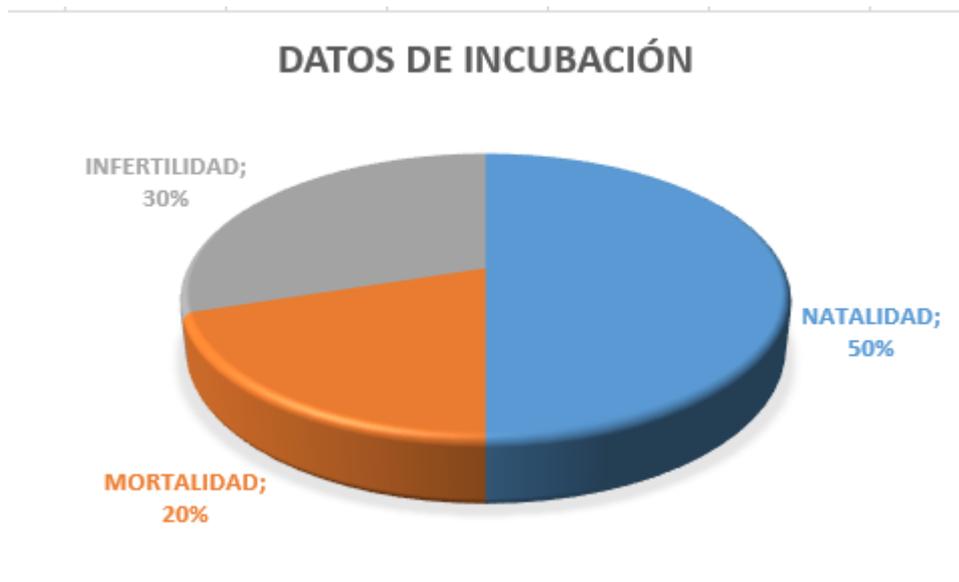
#### 6.1.5 Análisis de resultados

Se debe analizar los resultados obtenidos luego de haber realizado la primera incubación en la siguiente tabla se resumirá los datos obtenidos.

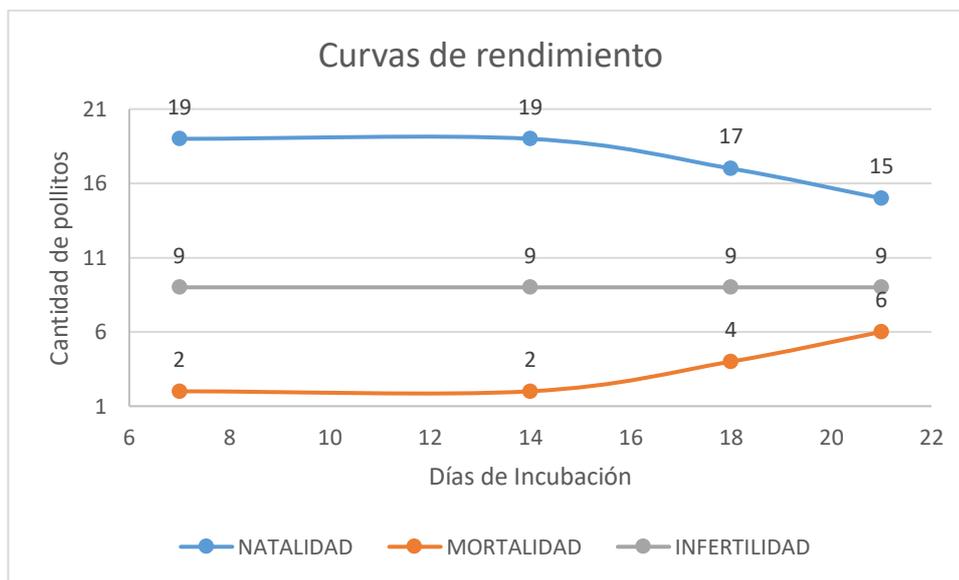
**Tabla 51.  
Datos obtenidos de la primera incubación**

<b>Total de huevos incubados</b>	<b>Natalidad total de huevos</b>	<b>Mortalidad total de huevos</b>	<b>Infertilidad total de huevos</b>
30	15	6	9

Como se puede visualizar en la tabla 48 se obtuvo una natalidad del 50% una mortalidad del 20% y una infertilidad del 30% a continuación se detalla en la figura 139 dichos datos.



**Figura 140: Datos porcentuales de la primera incubación**



**Figura 141: Curvas de rendimiento en pruebas de ovoscopia realizadas durante la primera incubación**

### 6.1.6 Mejoras al sistema

Luego de los datos obtenidos por la primera incubación permite dar a conocer las posibles falencias encontradas y a ser revisadas por el sistema como lo son:

- Presenta una temperatura no uniforme en todos los puntos de la máquina.
- La lectura de temperatura por parte del sensor no es la correcta.
- La lectura de la humedad por parte del sensor no es la correcta.

Una vez identificadas las posibles falencias se decidió adquirir unos sensores digitales de temperatura y un higrómetro para medir la humedad relativa en el agua de la bandeja, para con esta instrumentación poder corroborar los datos entregados por los sensores del sistema como se indica a continuación en las figuras.

En la figura 141 se puede observar cómo se colocaron 3 sensores digitales para verificar que el calor sea uniforme dentro de todo el sistema, pudiendo notar la variación de 1°C entre la primera bandeja con la última, por lo cual se tomó como corrección de mantener siempre el ventilador encendido para lograr que el calor se distribuya uniformemente logrando los valores deseados con una variación entre la primera y tercera bandeja de 0.10 °C , de igual manera se realizó la calibración del sensor de humedad con el higrómetro a través de un bulbo húmedo para medir la humedad entregada como se indica en la figura 142.

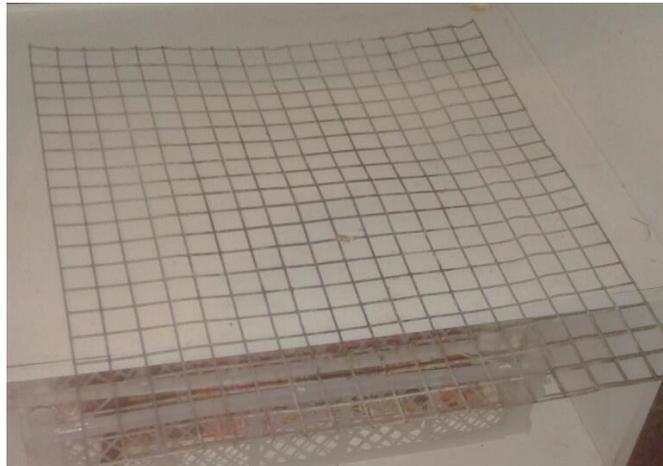


**Figura 142: Calibración del sensor de temperatura**



**Figura 143: Calibración del sensor de humedad**

Finalmente un problema en la estructura mecánica que se notó al realizar la prueba de incubación fue que los polluelos al nacer se caían de las bandejas superiores y podían ahogarse dentro de la bandeja de la humedad, por lo cual se decidió aumentar una rejilla figura 143 en la base de la bandeja con las siguientes dimensiones 40 cm de largo x 40 cm de profundidad y 8 cm de alto.



**Figura 144: Malla de protección para la bandeja de agua**

## **6.2 Segunda prueba de incubación**

### **6.2.1 Selección de huevos fértiles**

De igual manera que la primera incubación se vio la necesidad de realizar la búsqueda de huevos fértiles para poder incubar, y así poder empezar la segunda prueba de incubación como se indica en la figura 144.



**Figura 145: Segunda prueba de incubación huevos fértiles**

### **6.2.2 Pruebas de ovoscopia**

Las pruebas de ovoscopia que se realizó son de la misma manera que las realizadas para la primera incubación por lo tanto se detallan las figuras obtenidas de las 3 pruebas de ovoscopia realizadas de los días 7,14 y 18 respectivamente.



**Figura 146: Segunda prueba de incubación de un huevo fértil (día 7)**



**Figura 147: Segunda Prueba de incubación de un huevo infértil (día 7)**



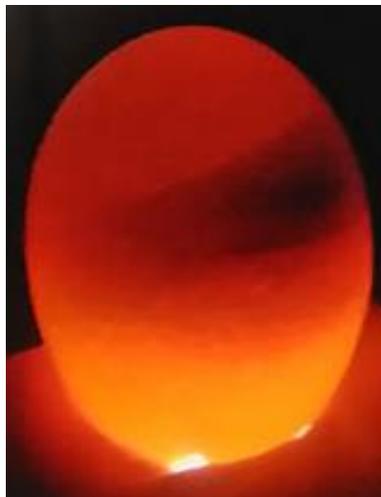
**Figura 148: Segunda prueba de incubación de un huevo fértil (día 14)**



**Figura 149: Segunda prueba de incubación de un huevo infértil (día 14)**



**Figura 150: Segunda prueba de incubación de un huevo fértil (día 18)**



**Figura 151: Segunda prueba de incubación de un huevo infértil (día 18)**

### **6.2.3 Día del nacimiento**

Luego de haber pasado por todo un proceso de incubación durante los primeros 18 días se notó una gran diferencia en los días del nacimiento generándose la eclosión de los huevos a partir del día 19, 20 hasta 21 respectivamente a diferencia de la anterior incubación.



**Figura 152: Eclosión de los huevos incubados**



**Figura 153: Nacimiento del pollito**

En la figura 153 se puede apreciar los primeros pollos que se los iba ubicando después de salir del sistema de incubación para que se seque su plumaje.



**Figura 154: Pollitos ubicados en una nacedora**



**Figura 155: Resultados finales de la segunda incubación**

#### **6.2.4 Análisis de resultados**

Se debe analizar los resultados obtenidos luego de haber realizado la segunda incubación en la siguiente tabla 49 se resumirá los datos obtenidos.

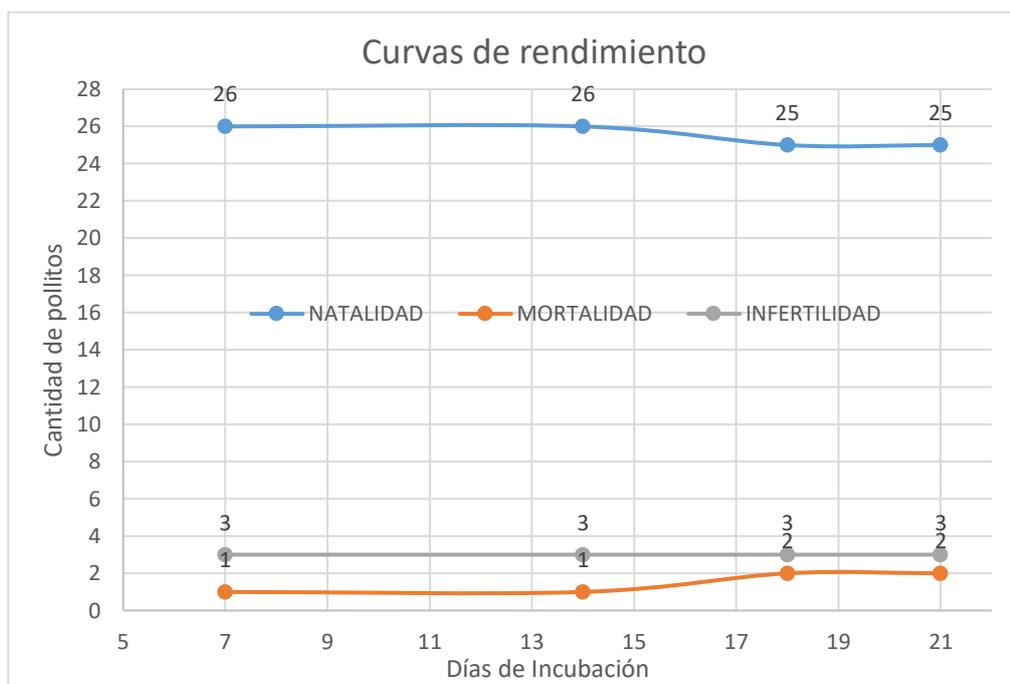
**Tabla 52.**  
**Datos obtenidos de la segunda incubación**

Total de huevos incubados	Natalidad total de huevos	Mortalidad total de huevos	Infertilidad total de huevos
30	25	2	3

Como se puede visualizar en la tabla 49 se obtuvo una natalidad del 83% una mortalidad del 7% y una infertilidad del 10% a continuación se detalla en la figura 155 dichos datos.



**Figura 156: Datos porcentuales de la segunda incubación**

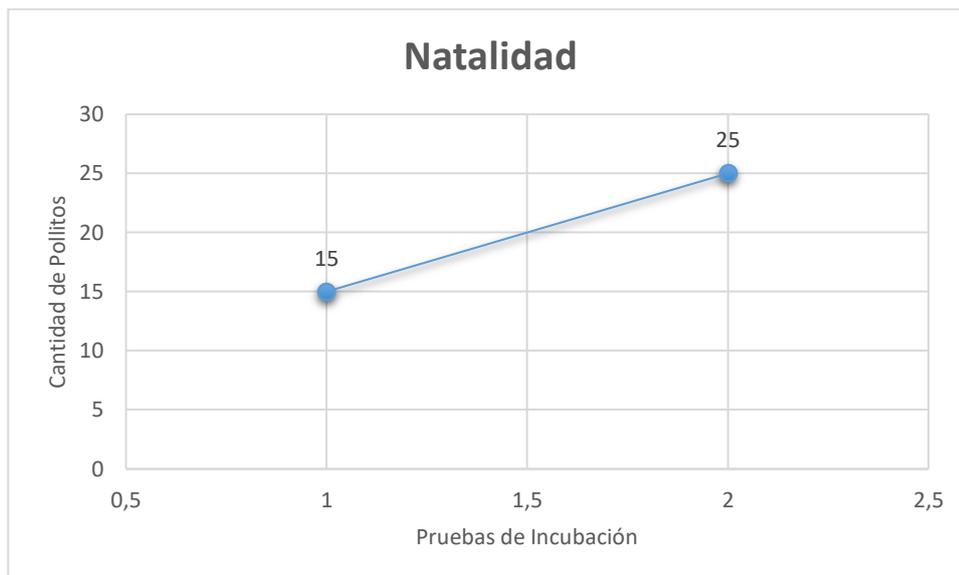


**Figura 157: Curvas de rendimiento en pruebas de ovoscopia realizadas durante la segunda incubación**

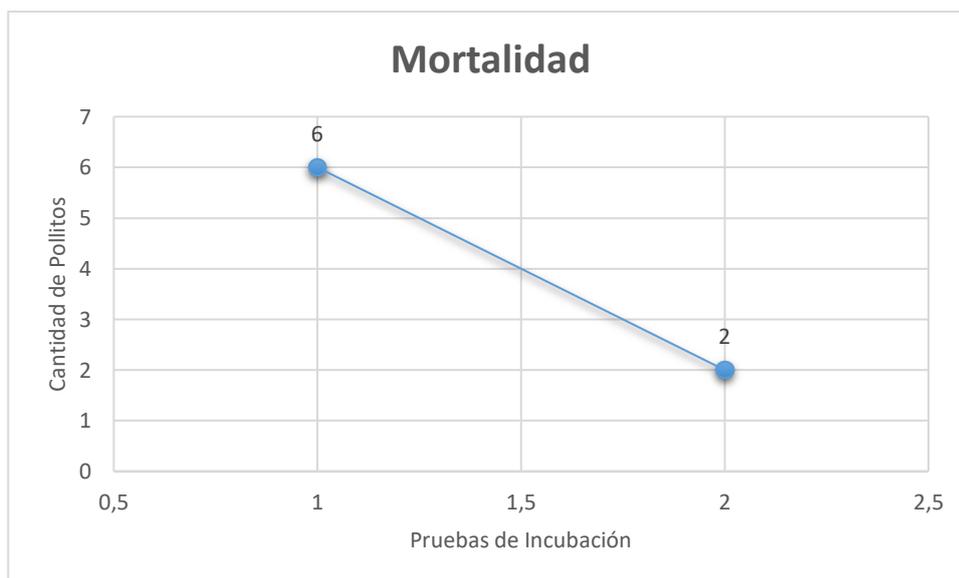
### 6.3 Comparativas de los dos procesos de Incubación

En conclusión luego de haber evaluado el sistema en dos procesos de incubación el sistema no se han detectado ningún fallo mecánico adicional a los ya mejorados en la primera prueba de incubación.

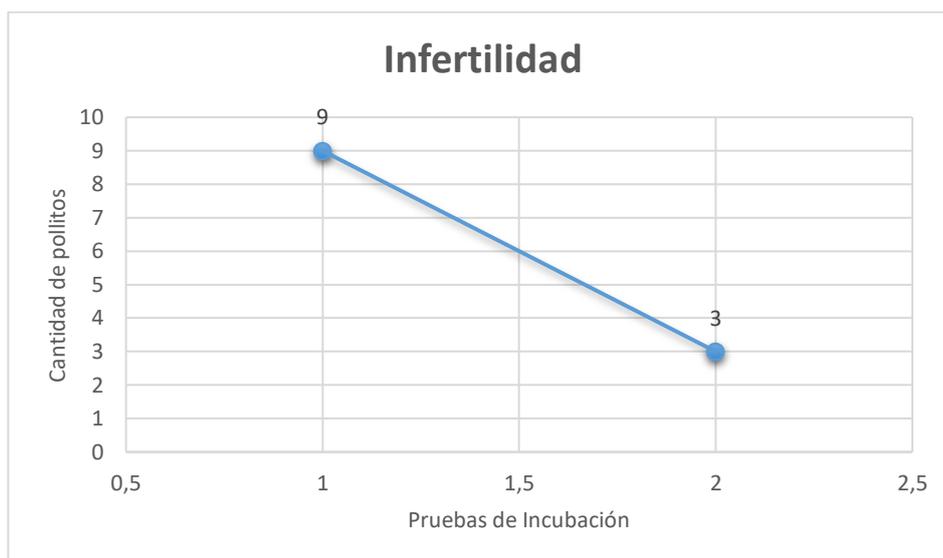
Por lo tanto se presenta una lista de figuras comparativas donde se puede visualizar en una curva los datos de natalidad, mortalidad, infertilidad obtenidos de la tabla 48 y 49 como han variado y notando claramente un mejoramiento en todos los factores para la segunda incubación de un total de 30 huevos insertados en el sistema respectivamente.



**Figura 158: Datos de natalidad comparando 1ra Incubación con respecto a la 2da Incubación**



**Figura 159: Datos de mortalidad comparando 1ra Incubación con respecto a la 2da Incubación**



**Figura 160: Datos de Infertilidad comparando 1ra Incubación con respecto a la 2da Incubación**

#### 6.4 Análisis de costos

A continuación se detallará un pequeño análisis de costos de los elementos empleados.

**Tabla 53.**  
**Análisis de costos**

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>Estructura mecánica</b>	Estructura física del sistema	1	\$300	\$300
<b>Relays</b>	Relays para activaciones	4	\$6	\$24
<b>PLC</b>	PLC Controllino Mini	1	\$140	\$140
<b>Protecciones</b>	Protecciones	3	\$6	\$18
<b>Cable</b>	Cable para el tablero de control	25m	\$0.17	\$4.25
<b>Pantalla Nextion</b>	Pantalla para la interfaz HMI	1	\$65	\$65

Continua 

<b>Borneras</b>	Borneras puntos comunes	15	\$0.30	\$4.50
<b>Canaletas</b>	Canaleta ranurada	2	\$3.50	\$7.00

Por lo tanto realizado un pequeño análisis del sistema finalmente implementado se tiene un total de \$562,75.

## 6.5 Comparación del sistema de incubación vs Tradicionales

### 6.5.1 Comparativa Sistemas nacionales

En esta sección del documento se realizará la comparación del sistema de incubación implementado con respecto a otros sistemas correspondientes a la pequeña y mediana industria en el mercado nacional.

**Tabla 54.**  
**Tabla comparativa del sistema de incubación implementado con respecto a los tradicionales en el país.**

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	<b>INCUBADORA IMPLEMENTADA</b>	<b>INCUBADORAS TRADICIONALES</b>
<b>Control de Temperatura</b>	✓	✓
<b>Control de Humedad</b>	✓	✓
<b>Control de Nivel</b>	✓	X
<b>Control de volteo</b>	✓	X
<b>Ventilación</b>	✓	X
<b>Interfaz Gráfica</b>	✓	X
<b>Material Reciclado</b>	✓	X
<b>Reanudar proceso</b>	✓	X
<b>Alarmas</b>	✓	X
<b>Precio Económico</b>	✓	X

A continuación se detallarán las diferencias encontradas en cada ítem de la tabla 51.

- **Control de Temperatura:** El sistema de control de temperatura que presenta la incubadora implementada es un control que permite mantener una temperatura constante necesario durante el proceso de incubación en relación a las existentes y utilizadas en el mercado nacional que presentan muchas de ellas sistemas de control básicos.
- **Control de Humedad:** El sistema de control de humedad que se presenta en el sistema es altamente exacto en relación a los sistemas tradicionales de humedad que se realiza en el país, ya que estos sistemas se basan en la inserción de una bandeja de agua y mediante el mismo calor generado por el sistema se genere la humedad, en muchos sistemas de incubación también no se tiene un sensor adecuado de humedad.
- **Control de nivel:** El sistema implementado presenta un sistema de nivel como aviso cuando se necesite abastecer de nuevo de agua a la bandeja, sistema que no poseen en la tecnología usada en el país.
- **Control de volteo:** El sistema presenta un sistema de volteo automático a comparación de los tradicionales que muchos de ellos necesitan realizar este proceso manualmente.
- **Ventilación:** El sistema implementado posee un ventilador que permite la recirculación del aire interno en todo momento, característica que muchos sistemas del país carecen.
- **Interfaz Gráfica:** El sistema implementado posee una interfaz amigable con el usuario para poder visualizar y controlar completamente el sistema de incubación, en relación a sistemas tradicionales de LCD de las maquinarias existentes a nivel nacional.
- **Material Reciclado:** El sistema de incubación fue implementado en base a productos reciclables y adaptado acorde a las necesidades.

- **Reanudar Proceso:** El sistema de incubación tiene una característica muy peculiar, ya que el sistema al estar implementado para la pequeña y mediana industria puede sufrir de algún corte de energía al no poseer estas industrias de generadores eléctricos, por lo tanto el sistema puede recobrar los datos automáticamente para continuar con el proceso normalmente si esto ocurriese.
- **Alarmas:** Una característica fundamental en este tipo de sistemas es el aviso de alarmas a los distintos parámetros controlados, ya que permitirá al operario conocer de cualquier anomalía en el proceso.
- **Precios Económicos:** En costos el costo beneficio que presenta el sistema se basa en los elementos empleados que son accesibles y relativamente económicos a los sistemas ya existentes.

En vista de lo planteado se demuestra que el sistema de incubación implementado presenta ventajas con respecto a la tecnología que se utiliza en el país.

### 6.5.1 Comparativa con Sistemas de incubación Internacionales

Los sistemas de incubación que existen en el mercado internacional poseen un porcentaje de natalidad de incubación de cerca del 80% según lo mencionan los fabricantes pero con la dificultad de no poder ser adquiridos con facilidad por los avicultores de la pequeña y mediana industria debido a los siguientes factores:

- Dificultad para exportarlos.
- Altos costos de los sistemas (MASALLES, 2017).

Por lo cual el equipo implementado en base a los resultados obtenidos en las figuras 155 a la 159 se puede concluir en el funcionamiento del sistema que

es idóneo y cumple con las especificaciones para competir con sistemas de incubación internacionales.

## CAPÍTULO VII

### 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. Conclusiones

El sistema de incubación artificial de huevos de gallina ha permitido a la Unidad productiva Majavi empezar con una nueva visión hacia el futuro de la empresa, permitiéndoles experimentar la incubación artificial de huevos de gallinas, ya que ellos entre varias actividades agropecuarias solo se dedicaban a la crianza de pollos de engorde.

En el sistema de incubación se ha implementado una nueva tecnología de controlador industrial llamada Controllino que se basa su programación en arduino que es una plataforma que va ganando fuerza a nivel mundial por existir tantos complementos para poder cumplir con eficiencia cualquier proceso ya sea industrial o electrónico.

El sistema de incubación presenta ventajas en su funcionamiento al ser un sistema que en su diseño de interfaz HMI le permite al usuario entre varias funciones de alertas y supervisión de parámetros además poder continuar con el proceso de 21 días sin importar el instante en que se haya detenido o apagado el sistema por cualquier fallo ya sea de energía o humano.

Temperaturas no bien controladas o pequeñas variaciones por debajo de los 37° C en el sistema de incubación afectan notablemente en el tiempo de incubación de 21 días extendiéndolo por aproximadamente de 1 a 2 días más de los establecidos.

La técnica de control empleada para dar una solución al control de temperatura factor de mayor importancia en el proceso, se ajusta perfectamente a los resultados deseados teniendo una variación de temperaturas entre 37.5 °C a 37.8°C.

Un sistema de control de temperatura y distribución del calor fiable adecuadamente distribuido en todos sus puntos en un sistema de incubación artificial es de vital importancia para lograr una natalidad exitosa pudiendo tener el menor número de mortalidad en el proceso.

Para la realización de un sistema de incubación se evaluó varios parámetros, en primera instancia se debe realizar una correcta pre incubación, como selección del huevo fértil, desinfección y almacenaje del mismo, todo con la finalidad de conseguir una natalidad superior al 80%.

Un sistema de volteo a velocidades lentas permite al proceso de incubación obtener mejores resultados al momento de eclosionar los huevos, ya que no permiten que el embrión se pegue a la cáscara, sin embargo un movimiento demasiado rápido afecta el embrión y lo mata.

Para poder evaluar el sistema de incubación se ha desarrollado dos procesos de incubación de 21 días cada uno, pudiendo notarse el buen desempeño de todos los elementos de control empleados y arrojando buenos resultados finales aceptables, con un 83% de natalidad en la segunda prueba.

El aumento de natalidad entre la primera con respecto a la segunda prueba de incubabilidad, se debió a las mejoras tanto electrónicas como mecánicas que se hizo, logrando una mejor distribución del calor dentro de todo el sistema y calibrando los distintos sensores empleados con la ayuda y soporte de sensores digitales para calibración de sistemas de incubación, los cuales fueron ubicados en distintas partes de la máquina permitiendo verificar si el valor entregado es el correcto o no dentro del sistema.

La falta de humedad en los últimos 3 días de incubación pueden afectar notablemente el nacimiento de los polluelos ya desarrollados totalmente en el

interior del cascaron produciendo que se ahoguen, ya que no se ablanda la cáscara para que el polluelo pueda romper y salir por sus propios medios.

## **7.2. Recomendaciones**

Para poder tener éxito en un sistema de incubación se debe empezar desde la selección de gallinas con huevos fértiles que permitan tener un embrión acorde para la incubación.

Para un mayor crecimiento en el ámbito de la incubación artificial se recomienda a la Unidad Agropecuaria Majavi la instalación de sistemas trifásicos para las futuras conexiones de más sistemas de incubación, factor importante para que ahorren consumos energéticos y obtener una mayor rentabilidad.

Se recomienda realizar una correcta desinfección de los elementos empleados en la incubación para evitar una mortalidad prematura del embrión ya que se puede presentar el caso de una posible infección al interior del sistema, perdiendo toda la camada ingresada, generando pérdidas importantes de tiempo y dinero.

El sistema de incubación debe ser limpiado recomendablemente después de haber realizado el proceso de incubación, ya que los polluelos al nacer eliminan los restos de las cáscaras al interior del sistema, además de eliminar el cordón umbilical al nacer y así poder eliminar al mínimo cualquier infección para el siguiente proceso de incubación.

Se recomienda tener una persona pendiente de los nacimientos a partir del día 19 del proceso, debido a que en ese momento empezaran a eclosionar los polluelos y deberán ser trasladados a una fuente de calor que permita secar su plumaje.

## BIBLIOGRAFÍA

- AVICOLA, E. s. (17 de 09 de 2013). *Incubando Huevos a gran altura*. Obtenido de <http://www.elsitioavicola.com/articles/2449/incubando-huevos-a-gran-altura/>
- Barrera Gutiérrez, A. (07 de Noviembre de 2006). *Academia.edu*. Obtenido de Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo: <https://www.academia.edu/7478838>
- Enriquez, H. (2008). *Guía Práctica para el cálculo de instalaciones eléctricas*. México: Limusa.
- Giancoli, D. (2006). *Física principios con aplicaciones*. México: Pearson Education.
- kalpakjian, S., & Schmidts, S. (2002). *Manufactura Ingeniería y tecnología*. México: Pearson Educación.
- MASALLES. (15 de Febrero de 2017). *MASALLES*. Obtenido de <http://www.masalles.com/>
- METAS, L. G. (Julio de 2006). *Criterios básicos para la selección de sensores de temperatura*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-06-07-seleccion-termometros.pdf>
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Education.
- OMLET. (2003). Obtenido de La incubación natural de los huevos: <https://www.omlet.es/guide/incubaci%C3%B3n/incubaci%C3%B3n/natural/>

- Orellana, I. J. (17 de Marzo de 2007). *Grupo Edifarm*. Obtenido de [https://quickvet.edifarm.com.ec//pdfs/articulos\\_tecnicos/CENSO%20A%20VICOLA.pdf](https://quickvet.edifarm.com.ec//pdfs/articulos_tecnicos/CENSO%20A%20VICOLA.pdf)
- Pere Ponsa, A. G. (15 de Mayo de 2009). *Universidad Politécnica de Cataluña*. Obtenido de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/pantalla.pdf>
- Roque. (17 de Marzo de 2005). *Zoo Planet*. Obtenido de Guía de Incubación de huevos: <http://zoo-planet.es/wp-content/uploads/2012/04/Guia-de-incubacion-huevos-gallina.pdf>
- Sarmiento, M. (26 de Septiembre de 2011). *Automatismos eléctricos industriales*. Obtenido de <https://todoclase.files.wordpress.com/2011/11/1-introduccion3b3n.pdf>
- SIEMENS. (ENERO de 2017). Obtenido de <https://www.siemens.com.mx/cms/mam/industry/Automatizacion/SIMATIC-sistemas-de-automatizacion-industrial/plc/Pages/plc-siemens-SIMATIC.aspx>
- TECNA. (29 de JUNIO de 2011). *Selavi reproducción Incubabilidad*. Obtenido de Repositorio digital de documentos de la UAB: [http://ddd.uab.cat/pub/selavi/selavi\\_a1991m4v33n4/selavi\\_a1991m4v33n4p228.pdf](http://ddd.uab.cat/pub/selavi/selavi_a1991m4v33n4/selavi_a1991m4v33n4p228.pdf)
- Toapanta Soto, A. (2012). *Control de temperatura On-Off con histéresis*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2016, de <https://es.scribd.com/doc/97395385/Informe-de-Control-on-Off-Con-Histeresis>
- UNAM. (20 de Marzo de 2013). *Ferías de las ciencias*. Obtenido de UNAM: [http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria218\\_01\\_diseno\\_y\\_construccion\\_de\\_una\\_incubadora\\_de\\_huevo\\_e.pdf](http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria21/feria218_01_diseno_y_construccion_de_una_incubadora_de_huevo_e.pdf)

Universidad de Misisipi. (2013). Cuidado e incubación de los huevos fértiles. *El sitio avícola.*

*Universidad Don Bosco.* (5 de Junio de 2013). Obtenido de Sistemas de control automático:  
<http://www.udb.edu.sv/udb/archivo/guia/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2013/i/guia-6.pdf>

*Universidad Politécnica de Cataluña.* (13 de Septiembre de 2004). Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3330/34059-5.pdf?sequence=5>

Uriarte Onoro, J. (28 de Marzo de 2011). *Sistemas de control automático.* Obtenido de <http://ieshuelin.com/huelinwp/download/Tecnologia/Tecnologia%20industrial/3-SISTEMAS-DE-CONTROL-AUTOMATICO.pdf>

Vaca Adam, L. (1991). *Producción avícola.* Costa Rica: Universidad estatal a distancia.

Yepes Valencia, J. C., & Marlon Andrey, F. M. (22 de 11 de 2016). *Universidad tecnológica de Pereira.* Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/7427/00538Y47.pdf?sequence=1>

## **ANEXOS**

**ANEXO 1. PLANOS MECÁNICOS**

**ANEXO 2. PLANOS ELÉCTRICOS**

**ANEXO 3. DATASHEET CONTROLLINO MINI**

**ANEXO 4. MANUAL DE USUARIO**

**ANEXO 5. CARTA DE CONFORMIDAD**