

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE HONDURAS
FACULTAD DE INGENIERÍA



INCUBADORA Y NACEDERO PARA INDUSTRIA AVÍCOLA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

Para optar al Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA

Elaborado por:

LUIS HENRIQUEZ VALLE YANES

TEGUCIGALPA M.D.C., HONDURAS

2017

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE HONDURAS



AUTORIDADES

PRESIDENTE DE LA JUNTA DE ASOCIADOS

Lic. Roger D. Valladares

VICERRECTOR

Msc. Javier Enrique Mejía

DIRECTOR ACADÉMICO

Msc. José Jesús Mora

RECTOR CAMPUS TEGUCIGALPA

Msc. Carlos Francisco Young

DIRECTORA DE CARRERA INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA

Campus Tegucigalpa

Mae. Marina Sagrario Castellanos

ASEORES:

Mae. Cesar Núñez

Mae. Wilmer Flores

Dedicatoria:

A mis padres,

Franklin y Nery

Agradecimientos:

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado, a mi madre Nery y a mi padre Franklin que sin ellos no hubiese sido posible nada de esto, al Ing. César Núñez y al Ing. Wilmer Flores por sus cátedras y su asesoramiento, y a la Universidad Tecnológica de Honduras por permitirme cumplir un sueño.

Tabla de Contenido

Resumen.....	1
Glosario de términos	2
1. Introducción	4
2. Descripción del problema	5
2.1. Objetivos	6
2.2. Alcance y Delimitación.....	6
3. Incubación y su proceso.....	7
3.1. Inicios de la incubación artificial	7
3.2. Definición y tipos de incubadoras artificiales	9
3.3. Generalidades de la incubación.....	11
3.4. Incubabilidad.....	13
3.5. Selección de un huevo viable.....	15
3.6. Temperatura dentro de la incubadora.....	18
3.7. Humedad dentro de la incubadora.....	20
3.8. Rotación y posición del huevo	21
3.9. Miraje y desarrollo del embrión.....	23
4. Mercado de incubadoras	27
4.1. Producción Avícola nacional	27
4.2. Incubadoras internacionales	32
4.3. Incubadoras nacionales	43
5. Diseño y desarrollo del prototipo.....	45
5.1. Estructura física.....	46
5.2. Control electrónico.....	56
5.3. Programación	73
5.4. Consumo energético teórico.....	80
5.5. Escalabilidad tecnológica.....	80
6. Análisis económico	82
6.1. Costo total de fabricación del prototipo	82
6.2. Recuperación de la inversión	83

7.	Análisis de resultados de la incubación de prueba.....	86
7.1.	Iniciando el proceso de incubación.....	86
7.2.	Análisis de ovoscopía.....	88
7.3.	Análisis de datos proporcionados por PLX-DAQ.....	90
7.4.	Análisis de nacimientos y muertes.....	93
8.	Conclusiones	99
9.	Recomendaciones	101
	Referencia	103
	Apéndices.....	1

Lista de figuras

Figura 1.	Síntesis del proceso de incubación.	7
Figura 2.	Mamals u horno de incubación usados en el antiguo Egipto.....	8
Figura 3.	Sinopsis de las distintas tecnologías de incubación.....	10
Figura 4.	Factores de control externos (granja) e internos (incubadora).	14
Figura 5.	Representación de los diferentes tipos de huevos que se podrían encontrar en una granja de puesta.....	17
Figura 6.	Relación entre tiempo de nacimiento promedio, incubabilidad y temperatura.	19
Figura 7.	Producción de calor de los huevos en el proceso de incubación.	20
Figura 8.	Óptima pérdida de peso de los huevos durante la incubación.	20
Figura 9.	Posición del huevo dentro de la bandeja de incubación y ángulo de rotación sobre la horizontal.	22
Figura 10.	Ovoscopio casero, simple y efectivo utilizado por muchos criadores de aves.	24

Figura 11. Proceso de desarrollo embrionario observado mediante un ovoscopio.....	24
Figura 12. Evolución de la producción de carne de pollo en Honduras 2010-14.....	29
Figura 13. Evolución de la producción en términos de pollos por año.....	30
Figura 14. Evolución de la capacidad instalada de las principales empresas.	31
Figura 15. Resumen del análisis de incubadoras.	32
Figura 16. Incubadora Petersime de la gama S-Line.	35
Figura 17. Incubadora EmTech de la gama PrimoTech.....	37
Figura 18. Incubadora Yunfeng de la serie XF75.	38
Figura 19. Incubadora MG50.....	39
Figura 20. Incubadora genérica de 48 huevos.....	40
Figura 21. Incubadora Baumgart de 42 huevos.	41
Figura 22. Prototipo de incubadora.....	46
Figura 23. Dimensiones del prototipo, los valores de longitud están representados en milímetros. Elaboración propia.....	48
Figura 24. Dimensiones de las estructuras que conforman la bandeja de huevos.	48
Figura 25. Dimensiones de la bandeja para huevos.	49
Figura 26. Motor síncrono y sus acoples.	50
Figura 27. Representación gráfica del mecanismo de volteo.....	51
Figura 28. Mecanismo de rotación ensamblado.....	53

Figura 29. Bandeja para agua.....	56
Figura 30. Diagrama en bloque del control electrónico.....	57
Figura 31. Diagrama esquemático general.....	58
Figura 32. Módulo de control, ensamblaje físico.....	59
Figura 33. Ensamblaje físico del módulo de salida.....	64
Figura 34. Diseño del circuito impreso del módulo de salida.....	64
Figura 35. Modulo Sensor BME280 con interfaz I2C.	66
Figura 36. Aspecto físico del módulo 2004A.	68
Figura 37. Tarjeta LCM1602.	69
Figura 38. Elementos de calefacción, rotación y ventilación. Elaboracion propia	71
Figura 39. Diagrama de flujo en el que se basa el código programado.	74
Figura 40. Programación de bootloader en controlador ATmega328p.....	75
Figura 41. Programación del código usando la tarjeta de arduino como programador.....	75
Figura 42. Menú principal de la pantalla del prototipo.....	76
Figura 43. Menú de opciones en la pantalla del prototipo.	76
Figura 44. Menú Nacadero en la pantalla del prototipo.....	77
Figura 45. Menú Calibrar bandeja en la pantalla del prototipo.....	77
Figura 46. Menú de incubación en la pantalla del prototipo.....	78
Figura 47. PLX-DAQ recibiendo los datos del módulo de control.....	79

Figura 48. Huevos sucios.....	87
Figura 49. Huevos con marca después del proceso de limpieza.....	87
Figura 50. Inicio del proceso de incubación.....	88
Figura 51. Resultados de la ovoscopía en el noveno día de incubación.....	89
Figura 52. Ovoscopía en el día nueve de incubación.....	89
Figura 53. Mapeo de muertes embrionarias y eclosión.....	93
Figura 54. Desarrollo del embrión los primeros 5 días.....	94
Figura 55. Muerte embrionaria los primeros 10 días.....	95
Figura 56. Desarrollo embrionario los primeros 10 días.....	96
Figura 57. Desarrollo embrionario entre los 10 y 15 días.....	96
Figura 58. Desarrollo embrionario entre los días 15 y 21.....	97
Figura 59. Polluelo recién nacido.....	98

Lista de tablas

Tabla1. Periodos de incubación para distintos huevos de aves.....	11
Tabla2. Resumen de los parámetros importantes de la incubación	12
Tabla3. Efectos del almacenaje de los huevos sobre la incubabilidad y la duración de la incubación	16
Tabla4. Condiciones de conservación de los huevos para incubar	17

Tabla5. Efectos del ángulo de volteo de los huevos sobre la incubabilidad	23
Tabla6. Efectos del número de volteos de los huevos sobre la incubabilidad	23
Tabla7. Resumen del desarrollo de un embrión durante los días de incubación	26
Tabla8. Participación de las empresas productoras de carne de pollo en Honduras	29
Tabla9. Comparativa de las distintas incubadoras de alta densidad	42
Tabla10. Comparativa de las distintas incubadoras de baja densidad.....	43
Tabla11. Empresas incubadoras nacionales	44
Tabla12. Comparación de algunos modelos comerciales con respecto al prototipo.....	45
Tabla13. Promedio de las características del huevo de gallina.....	50
Tabla14. Valores iniciales de los elementos del mecanismo de volteo	52
Tabla15. Humedad relativa para distintas superficies de evaporación	54
Tabla16. Evaporación diaria dentro de la incubadora a 37.5°C.....	55
Tabla17. Datos técnicos ATMEGA328P.....	62
Tabla18. Componentes del Módulo de control	63
Tabla19. Relación corriente-ancho de pista.....	64
Tabla20. Especificaciones sensor BME280.....	68
Tabla21. Datos técnicos Modulo LCD	69
Tabla22. Especificaciones técnicas del motor síncrono.....	71
Tabla23. Especificaciones técnicas del ventilador.....	71

Tabla24. Resumen de componentes electrónicos.....	72
Tabla25. Potencia máxima y energía consumida teórica	80
Tabla26. Costo total de fabricación del prototipo.....	82
Tabla27. 70% eficiencia, 13.5 lempiras por polluelo.....	84
Tabla28. 70% eficiencia, 15 lempiras por polluelo.....	84
Tabla29. 100% eficiencia, 13.5 lempiras por polluelo.....	85
Tabla30. 100% eficiencia, 15 lempiras por polluelo.....	85
Tabla31. Datos de la incubación de prueba	90
Tabla32. Registro de cortes de energía eléctrica.....	92

Lista de formulas

Fórmula (1)	13
Fórmula (2)	13
Fórmula (3)	51
Fórmula (4)	51
Fórmula (5)	51
Fórmula (6)	54

Resumen

El proceso artificial de incubación de huevos de gallina está ampliamente extendido por todo el mundo. La creciente demanda de carne de pollo obliga a desarrollar procesos cada vez más eficientes. Uno de los principales pilares en esta industria, es la incubación artificial, sin ella sería imposible sustentar la población mundial actual.

Despertar la vida en un huevo fértil no es tan complicado como se cree, existe suficiente información que de manera concreta describe como incubar un huevo y con la ayuda de la tecnología actual esto se simplifica enormemente.

Uno de los principales problemas es que esta tecnología no se produce localmente, obligando a importar la maquinaria desde países como Brasil, China o Estados Unidos; aumentando los costos e imposibilitando que pequeños productores puedan adquirirla.

El sector avícola hondureño es un ejemplo de lo mencionado anteriormente, tiene altos estándares de producción, a costa de haber tecnificado sus procesos e invirtiendo cantidades millonarias de dinero, consolidando la industria y haciendo que productores pequeños salieran del mercado al no poder competir.

La exigüidad de productores de tecnología locales perjudica altamente a muchos sectores comerciales hondureños, pero es una realidad que se puede cambiar. El auge de los dispositivos microcontroladores y el bajo precio alcanzado, hace posible la creación de dispositivos altamente automatizados a costos realmente bajos. Esto evitaría la importación de maquinaria, reduciría los costos y mejoraría la eficiencia en los procesos localmente.

Con las premisas anteriores se diseñó y desarrolló un prototipo de incubadora con alto grado de automatización, y a un precio realmente bajo.

Glosario de términos

Acrílico: plástico de alta resistencia a la intemperie, al rayado y tiene aspecto transparente.

Actuador: dispositivo capaz de transformar energía hidráulica, neumática o eléctrica en la activación de un proceso con la finalidad de generar un efecto sobre un proceso automatizado

Clueca: estado de la gallina y otras aves cuando está en disposición para empollar.

Eclosión: momento en el que las crías de diversos animales comienzan a librarse de su cascarón de huevo una vez han alcanzado el máximo nivel de desarrollo.

Embrión: etapa inicial del desarrollo de un ser vivo mientras se encuentra en el huevo.

Fértil: capacidad de un ser vivo de producir o sustentar la progenie.

Galpón: construcción utilizada para la cría de aves.

Incubadora: aparato cuya función es crear un ambiente controlado de humedad y temperatura.

Memoria EEPROM: denominada así por sus siglas en inglés Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, Es un tipo de memoria que puede ser programada, borrada y reprogramada eléctricamente.

Memoria Flash: permite la lectura y escritura de múltiples posiciones de memoria en la misma operación, permite velocidades de funcionamiento muy superiores frente a la tecnología EEPROM. Por lo general aquí es donde se guardan los datos de programa de un microcontrolador.

Microcontrolador: circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica.

Motor síncrono: tipo de motor de corriente alterna en el que la rotación del eje está sincronizada con la frecuencia de la corriente de alimentación.

Nacedero: Etapa dentro de la incubación en donde se cambian las condiciones de humedad y temperatura aptas para la eclosión de los huevos.

Oligopolio: mercado dominado por un pequeño número de vendedores o prestadores de servicio.

Parvada: conjunto de aves, en general de misma especie.

Resistencia pull-down: resistencia conectada entre un conductor de señal y masa para asegurar que la señal tenga un nivel lógico válido.

Resistencia pull-up: resistencia conectada entre un conductor de señal y un voltaje positivo para asegurar que la señal tenga un nivel lógico válido.

Sensor: dispositivo capaz de detectar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, y transformarlas en variables eléctricas.

Sorgo: cultivo para consumo humano y animales.

1. Introducción

Honduras es un país agrícola y por ende vive de lo que produce la tierra, el poco desarrollo tecnológico que posee va orientado a ofrecer soluciones para las necesidades de las grandes ciudades, las que se mantienen en una parte por la agricultura y ganadería casi rudimentaria.

El sector avícola no es la excepción, si bien es cierto la mayoría de pollo se produce con alta tecnología, gestionado en su mayoría por solo tres empresas¹ que abarcan entre el 85 y 90% de la demanda, los demás productores trabajan aún con procesos muy atrasados, por lo que se les hace difícil competir, dejando sólo la porción del mercado en la cual a estas empresas se les dificulta la distribución (Comisión para la defensa y promoción de la competencia [CDPC], 2011).

El proceso inicial del pollo se da en la mayoría de los casos de manera natural con la fertilización del huevo, ya que el gallo no tiene problemas en fecundar a varias gallinas en periodos cortos de tiempo. Un huevo fecundado es apto para la incubación, que se puede hacer de manera natural utilizando a la gallina o artificial utilizando una incubadora, es en este punto donde los avicultores precisan de un método eficiente para poder incubar cantidades considerables de huevos. Una gallina promedio puede incubar alrededor de 15 huevos cada vez que entra en su periodo de clueca, esto representa grandes pérdidas y poca eficiencia en cuanto a nacimientos exitosos, es por ello, que el método de incubación artificial está ampliamente extendido por todo el mundo, ya que hay modelos que permiten producciones de hasta 100,000 huevos por proceso con tasas de natalidad del 98%. Como es de esperar, son tecnologías muy costosas (CDCP, 2011).

Lastimosamente Honduras no cuenta con productores locales de incubadoras, obligando a los avicultores a buscar soluciones en el extranjero, encareciendo los costos

¹ CADECA, PRONORSA y Cortijo son las empresas más importantes del sector avícola hondureño

y dando un muy limitado soporte técnico frente a eventuales fallas. Las incubadoras más asequibles que se encuentran en el mercado poseen un bajo grado de automatización, baja capacidad de huevos, baja eficiencia y un nulo soporte técnico el cual es imprescindible para cualquier equipo de producción.

Lo anterior representa una gran ventaja, y deja entrevisto un posible nicho de mercado para incubadoras hechas en Honduras.

Se pretende crear un prototipo a escala que brinde confianza al menor costo posible, que garantice un alto nivel de automatización, que sirva de fundamento para futuras versiones asegurando la escalabilidad de la tecnología y que ofrezca una solución real a esta problemática.

2. Descripción del problema

Los pequeños avicultores difícilmente pueden adquirir una incubadora con altas prestaciones tecnológicas, esto debido a que en el país no se ofrecen soluciones locales y se tienen que buscar en el extranjero. La mayoría vienen de países como ser China, Brasil y Estados Unidos, aumentando aún más los costos y haciendo más difícil que un pequeño productor pueda sobrevivir y competir. Por otra parte, las opciones de incubadoras económicas ofrecidas actualmente en el mercado poseen un bajo nivel de automatización, baja capacidad de huevos, materiales de calidad cuestionables y un deficiente sistema de soporte técnico lo que repercute directamente en la eficiencia de las mismas.

Comprar los polluelos a empresas más grandes los hace dependientes y solo es válido para aquellos avicultores que se encuentran cerca, de otra forma los costes de transporte siempre corren por el lado del comprador.

2.1. Objetivos

2.1.1. General

Diseñar y producir un prototipo a escala y funcional de una incubadora y nacadero para huevos de gallinas, que se ajuste a los requerimientos del sector avícola hondureño, incorporando las características de automatización requeridas al menor costo posible.

2.1.2. Objetivos específicos

- Explicar en qué consiste el proceso de incubación
- Determinar el estado tecnológico actual de incubadoras que se producen en el mundo y que se comercializan en Honduras.
- Diseñar y desarrollar un prototipo físico de incubadora y nacadero que se ajuste a los requisitos del proceso de incubación para huevos de gallina.
- Evaluar la eficiencia del prototipo con base en los resultados de una incubación de prueba.
- Realizar un estudio de factibilidad técnica y financiera de fabricación.

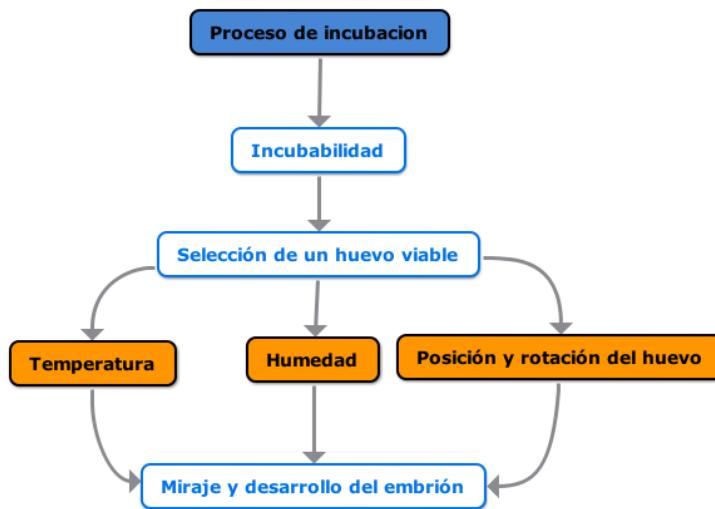
2.2. Alcance y Delimitación

Se delimitará el prototipo a:

- Costo menor al presupuesto financiado (4,500 lempiras).
- Capacidad de incubación próxima a los 40 huevos.
- Construcción con materiales que garanticen la inocuidad en el proceso.
- Control automático de los parámetros más críticos.
- Fácil manejo para cualquier usuario.

3. Incubación y su proceso

En este capítulo se hablará brevemente sobre la historia de la incubación y su evolución, luego se explicará el proceso de incubación en detalle, con el fin de tener un fundamento teórico sólido para la fabricación y elaboración del prototipo de incubadora. La figura 1 muestra una síntesis de los temas más importantes dentro de la incubación, mismos que se irán desarrollando a través de todo este capítulo.



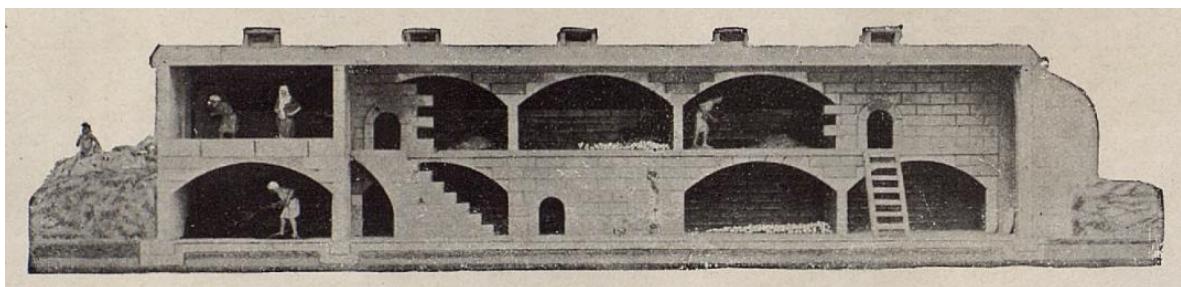
*Figura 1. Síntesis del proceso de incubación.
Elaboración propia*

3.1. Inicios de la incubación artificial

Se podría definir a la incubación artificial como el arte de producir nuevos seres vivos apoyándose en la capacidad inventiva del humano y sin intervención en lo más mínimo del animal. La incubación artificial es tan antigua que realmente no se tiene un registro exacto, pero se sabe que la idea original partió de las mismas aves que, en ciertas zonas, acostumbraban a depositar huevos en sitios convenientes, aprovechándose del calor del sol durante el día y volviendo durante la noche para ocuparse de ellos. Estos modelos de la naturaleza le hicieron ver al hombre lo relativamente fácil que era despertar la vida en un huevo y convertirlo en un nuevo ser.

En el siglo IV a.C. el polímata Aristóteles describió con gran detalle el proceso embrionario en su libro “Historia de los animales”. Según el padre Juan Gonzales de Mendoza (1586) la incubación artificial pudo haberse originado en la India para luego pasar a China y por último perfeccionarse en Egipto, en donde se formó realmente una industria que producía grandes cantidades de pollos.

Los egipcios llegaron a perfeccionar tanto su técnica y su tecnología que bien podría considerárseles como los inventores de la incubación artificial, llegando a tasas de cien millones de polluelos anuales, para ello se apoyaban de los mamals u hornos de incubación egipcios (ver figura 2) que funcionaban con el calor emitido por diferentes elementos en combustión (Castelló S. , 1917).



*Figura 2. Mamals u horno de incubación usados en el antiguo Egipto.
Extraído de “Avicultura: curso completo de gallinocultura e industrias anexas” por Salvador Castelló, 1917.*

Prosiguiendo con la historia de la incubación sin clueca² , fue hasta en el siglo XV que se construyeron las primeras incubadoras tecnificadas muchas de estas fueron fracasos totales, pero que, sentaron la base para los futuros modelos. Para el siglo XIX ya se contaban con distintos modelos de incubadoras semiautomáticas, la mayoría proveniente de países europeos y Estados Unidos. A inicios del siglo XX el arte de incubar artificialmente se perfeccionó y las patentes se contaban por docenas, los fabricantes más importantes se encontraban en Inglaterra, Francia y Estados Unidos.

² Particularidad de las aves cuando entran en el periodo para empollar.

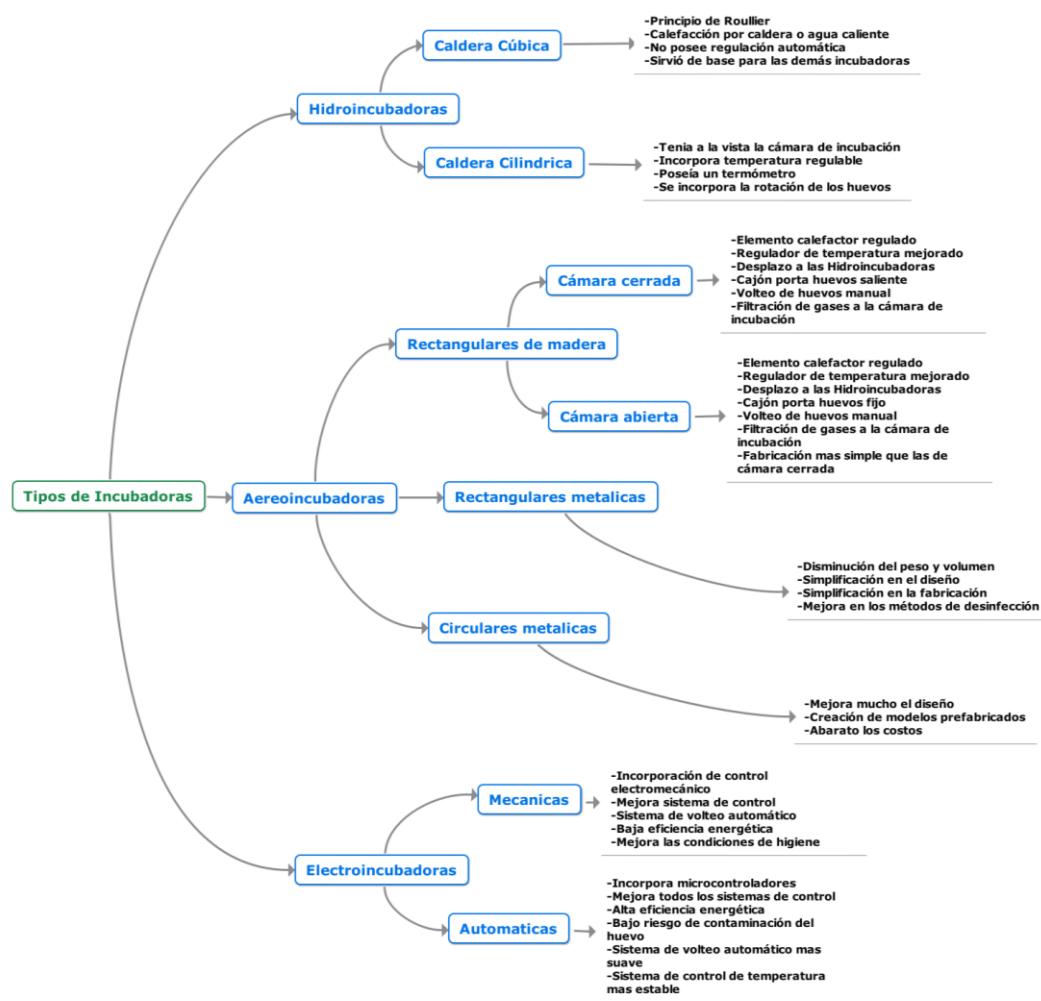
Con la invención del micro controlador a mediados del siglo XX la industria de las incubadoras tuvo un repunte extraordinario, los sistemas de incubación lograron las tasas más altas de eficiencia y los costos de las mismas bajaron notablemente.

3.2. Definición y tipos de incubadoras artificiales

Se puede definir incubadora como aquel dispositivo cuya función principal es crear un ambiente controlado de temperatura y humedad para la reproducción de nuevos seres vivos. Se enfocará principalmente en las incubadoras eléctricas debido a que con la llegada de los dispositivos electrónicos estas han tomado el mercado por completo, una de las principales causas de este gran desplazamiento fue el grado de automatización que alcanzaron, mismo que no podían replicar los sistemas mecánicos. Si bien es cierto el proyecto se centra en incubadoras eléctricas no está de más saber de otras tecnologías que en tiempo atrás fueron muy importantes, es conveniente aclarar que estas incubadoras se definen así por su fuente de calor, se describen las siguientes:

- Hidroincubadoras: estas incubadoras aprovechan el calor proveniente de un depósito con agua, mismo que es calentado por una llama, su principal ventaja es que puede mantener la temperatura por un tiempo prolongado, aun cuando la fuente de calor no esté presente, lo que se traduce en cambios de temperatura suaves. Su manejo era mecánico.
- Aereoincubadoras: toman como base la calefacción del aire circulante mediante cualquier materia en combustión, son muy sucias y presentan baja tasa de natalidad, su principal ventaja es su bajo costo de mantenimiento. Su manejo era mecánico.
- Electroincubadoras: es muy similar a la anterior con la única diferencia en que su calefacción se realiza mediante la circulación de una corriente eléctrica por una resistencia. Es la más limpia de todas. Su manejo al principio era mecánico, luego se implementaron los sistemas electrónicos.

La figura 3 muestra una breve evolución y mejoras de las incubadoras, se podría decir que representa la cronología de las mismas debido a la linealidad en que se fueron dando estas mejoras empezando por las hidroincubadoras de caldera cubica y terminando con las electroincubadoras automáticas.



*Figura 3. Sinopsis de las distintas tecnologías de incubación.
Elaboración propia a partir de los datos extraídos de “Avicultura: curso completo de gallinocultura e industrias anexas” por S. Castelló, 1917*

3.3. Generalidades de la incubación

El proceso de incubación comienza con la selección del huevo fértil, la fertilidad de un huevo dependerá de varios factores y afectará proporcionalmente en la tasa de natalidad final, el transporte y la posición final dentro de la incubadora tienen un papel importante pues representan un porcentaje en el éxito o fracaso de los mismos. Un proceso de incubación normal para huevos de gallina suele durar aproximadamente 21 días, como se puede observar en la tabla No.1, los períodos de incubación varían para diferentes especies.

Tabla 1
Periodos de incubación para distintos huevos de aves

Especie	Días	Especie	Días
Gallina	21	Faisán	23
Pato	28	Pavo real	29
Codorniz	16	Guinea	27
Gansos	32	Palomas	18
Turquía	28	Avestruz	42

Nota: Adaptado de “Artificial Incubation” por Joe G. Berry, 2009.

Una vez iniciado el proceso se deberán mantener estable una serie de parámetros como ser la temperatura, humedad y rotación del huevo, que simularán las condiciones reales que una gallina le proporcionaría, la tabla No.2, muestra un resumen de los valores óptimos. Existen otros factores que afectan la tasa de natalidad, pero los anteriores son los que representan el mayor porcentaje muertes embrionarias.

La temperatura es extremadamente importante durante la incubación, el valor ideal ronda los 37.7°C, variaciones de más de un grado por tiempos muy prolongados aumentará significativamente la cantidad de huevos no eclosionados pudiendo incluso

llegar a tener una natalidad del 0%. Los últimos tres días la temperatura deberá de descender hasta los 37.0°C esto es debido a que los huevos irradian calor (Clauer, 2009).

La humedad en el ambiente es otro factor significativo para una incubación exitosa, los huevos pierden agua durante el proceso y la tasa de pérdida dependerá directamente de la humedad relativa que posea la cámara de incubación. El nivel óptimo de humedad ronda los 60%, los últimos tres días la humedad debe aumentarse hasta un 70% ya que esto facilitará que los polluelos rompan el cascarón (Berry, 2007).

Los huevos deben ser rotados varias veces al día para obtener una tasa de eclosión mayor, la gallina naturalmente mueve los huevos con sus patas para evitar que el embrión se pegue al cascarón del huevo y posteriormente le cause la muerte.

Tabla 2
Resumen de los parámetros importantes de la incubación

Parámetro		Valor
Tiempo	0-18 días	19-21 días
Temperatura	37.7 °C	37.0 °C
Humedad	60%	70%
Rotación	8/día	0/día

Nota: Estos valores aplican únicamente para huevos de gallina. Elaboración propia.

3.4. Incubabilidad

La incubabilidad es la facultad o capacidad del huevo para eclosionar, produciendo un pollito viable (Selecciones avícolas, 1991), está influenciada por muchos factores, unos dependen directamente del manejo del huevo y otros dependen de la calidad de la incubación (ver figura 4). El proceso de incubación se inicia con un huevo fértil, es importante notar que no todos los huevos son fértiles, si estos provienen de granjas de consumo es muy probable que no estén fecundados, ya que los galpones³ donde se encuentran las gallinas carecen de un gallo.

La incubabilidad puede calcularse de dos formas distintas, una es sobre el porcentaje de huevos fértiles (ver ecuación 1) y otra es sobre el porcentaje de eclosión (ver ecuación 2) (Clauer, 2009). El porcentaje de fertilidad se relaciona directamente con los factores de control de la granja, en tanto el porcentaje de eclosión se relaciona directamente con los factores de control de la incubadora y de cierta manera una medida de la eficiencia de la misma. Los beneficios de tener en cuenta estos dos términos radican en poder deducir y encontrar rápidamente las causas de posibles problemas.

$$\% \text{fértils} = \frac{\text{huevos fértiles}}{\text{total de huevos}} \quad (1)$$

$$\% \text{eclosión} = \frac{\text{huevos eclosionados}}{\text{huevos fértiles}} \quad (2)$$

³ Construcción relativamente grande y simple que suele destinarse al almacenamiento de distintas mercaderías, animales o maquinarias.

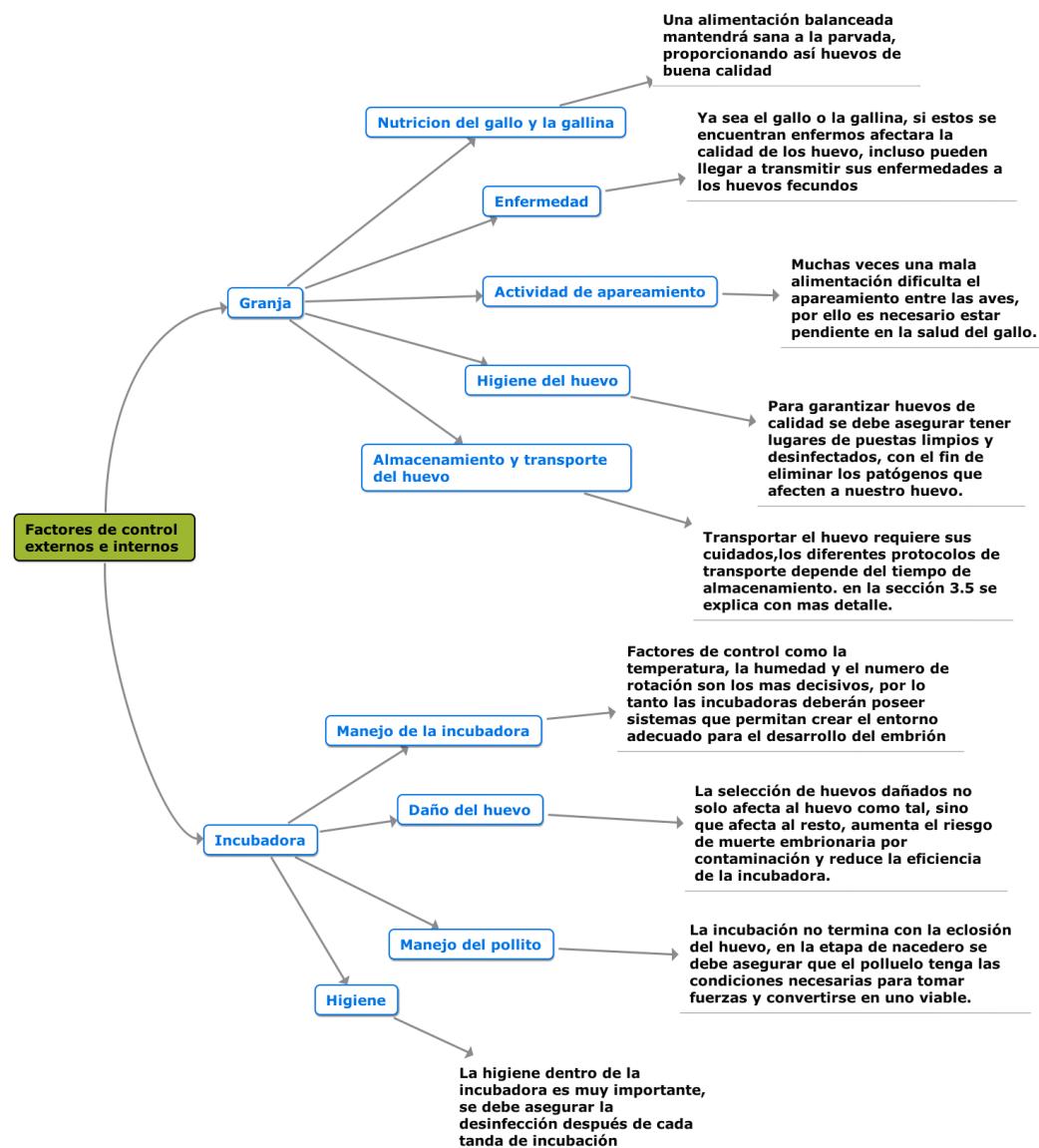


Figura 4. Factores de control externos (granja) e internos (incubadora).
Elaboración propia partiendo de los datos obtenidos de “Guía de manejo de la incubadora” por Cobb, 2013.

3.5. Selección de un huevo viable

Como se mencionó antes para garantizar una incubación exitosa se debe asegurar que el huevo seleccionado cumpla con una serie de requisitos. Un mal manejo después de la recepción del huevo puede deteriorar rápidamente el potencial de nacimiento de este.

A continuación, se enumerarán una serie de parámetros que influirán directamente en la incubabilidad del huevo, en la figura 5 podrá distinguir un huevo óptimo del resto:

- Calidad de la parvada⁴ deberá de ser buena, asegurando una alimentación balanceada y saludable. Si la madre está enferma es muy probable que pueda infectar a los huevos.
- Limpieza y desinfección de lugares de puestas, una cama de virutas de madera es una buena opción para mantener niveles óptimos.
- Selección de huevos manchados o sucios, si es necesario lavar los huevos, asegúrese de que sea con agua más caliente que el huevo. Aunque esta práctica no es recomendable ya que aumenta la posibilidad de que las bacterias de la suciedad se filtren por los poros del cascarón, lo mejor es descartar el huevo.
- La selección de huevos fracturados o con alguna deformidad en el cascarón disminuye notablemente la incubabilidad, tenga en cuenta que el color de la cáscara no influye para nada en la misma.
- La Selección de huevos pequeños o grandes en comparación al promedio afectan altamente la incubabilidad, los huevos pequeños requieren de menos calor, por lo que eclosionarán mucho antes que los demás, los huevos muy grandes por lo general poseen doble yema y necesitan de más calor para eclosionar.

⁴ Conjunto o banda de aves.

- Los huevos guardados deberán cumplir las condiciones estándar de almacenamiento, de otra manera estos huevos poseerán baja incubabilidad (ver tabla No.4).
- Los huevos muy viejos reducirán el porcentaje de eclosión, según los datos proporcionados por North y Bell (1993) (ver tabla No.3), los huevos almacenados durante tiempos muy prolongados no sólo afectan a la incubabilidad, sino que también retardan la duración de la incubación.

Tabla 3

Efectos del almacenaje de los huevos sobre la incubabilidad y la duración de la incubación

Días de almacenaje	% de Incubabilidad	Retraso en el nacimiento, horas
1	88	0.0
4	87	0.7
5	79	1.8
10	68	3.2
13	56	4.6
16	44	6.3
19	30	8.0
22	26	9.7
25	0	11.8

Nota: Adaptado de “Manual de producción avícola” por (North & Bell, 1993).

Tabla4
Condiciones de conservación de los huevos para incubar

Días de almacenaje	Temperatura °C	Humedad relativa %
1 a 3	17 – 20	70 - 75
4 a 7	14 - 17	75 - 80
8 a 14	11 - 14	80 - 85

Nota: Adaptado de “Manual práctico de avicultura” por (Castelló & Sole, 1986)

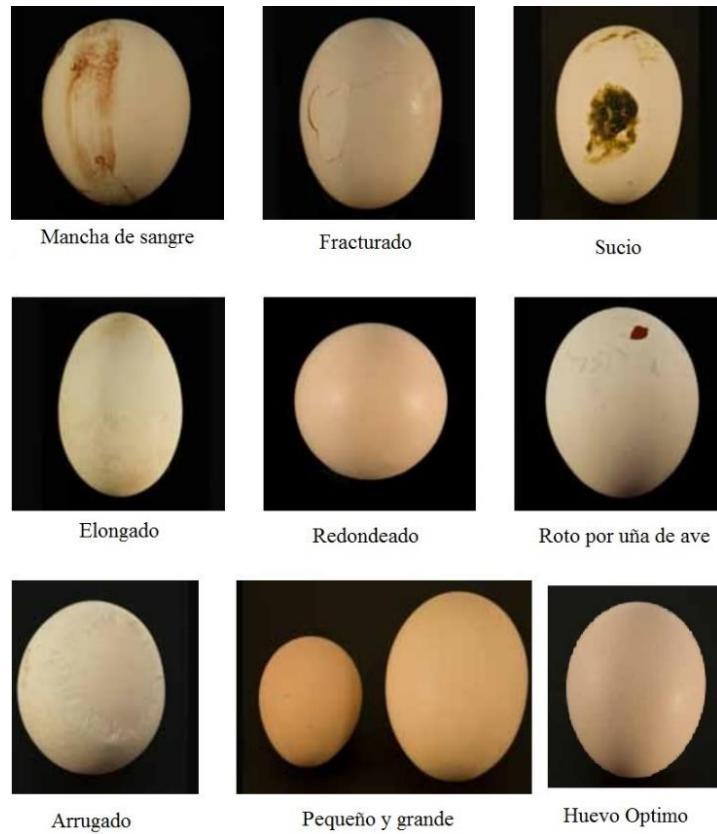


Figura 5. Representación de los diferentes tipos de huevos que se podrían encontrar en una granja de puesta.

Extraido de “Guía de manejo de la incubadora” por Cobb, 2013.

3.6. Temperatura dentro de la incubadora

La temperatura es el parámetro más importante y crítico dentro de la incubación, variaciones de más de un grado centígrado afectarán negativamente el porcentaje de eclosión. El aumento de temperatura favorece la multiplicación celular, determinando el inicio y la velocidad del desarrollo embrionario, a continuación, se dan dos parámetros que se consideran óptimos dentro de la incubación:

- Transferencia de calor: se realiza por aire caliente, por lo que se debe garantizar una buena circulación del aire manteniendo la temperatura lo más homogénea posible.
- Temperatura de incubación: La óptima es de 37.7°C, el margen aceptable de variación va de los 36.1°C a los 38.8°C, la temperatura fuera de los rangos altera proporcionalmente el desarrollo embrionario, la muerte del embrión se hace presente si ésta desciende por debajo de los 35°C o supera los 40°C (Clauer, 2009). La figura 6 nos da un mejor panorama de como se ve afectada la incubabilidad y el tiempo en función de la temperatura.
- Temperatura de incubación últimos tres días: deberá rondar los 37.0°C ya que los embriones entrarán en etapa de eclosión (nacadero) y empezarán a generar su propio calor, la figura 7 nos muestra la producción de calor en función de los días de incubación, se observa que los valores más alto se dan a partir del día 19.

Para mejorar el porcentaje de éxito dentro del proceso no solo es necesario mantener estable los tres factores antes mencionados, sino que también seguir una serie de consideraciones, mismas que se detallan a continuación:

- El sensor de temperatura deberá posicionarse lo más cercano a los huevos como sea posible, de esta manera se asegura una medida más fiable.

- Si la temperatura se mantiene por tiempos muy prolongados mayor de lo normal el desarrollo embrionario es adelantado, causando posiciones anormales y posibles deformidades en órganos internos. Temperaturas superiores a los 40°C representan gran mortalidad a partir del día 18 alcanzando tasas de muertes del 40% (Díaz, Orrego, Reyes, & Silva, 2016).
- Si la temperatura se mantiene por tiempos muy prolongados menor de lo normal el desarrollo embrionario es retrasado, pudiendo causar muerte prematura en los primeros 4 días si ésta desciende por debajo de los 35°C. El sobrecalentamiento sigue siendo más crítico por lo que se recomienda no pasar el rango superior ya que temperaturas inferiores solo ralentizan la tasa metabólica del polluelo manteniendo una mejor tasa de incubabilidad.

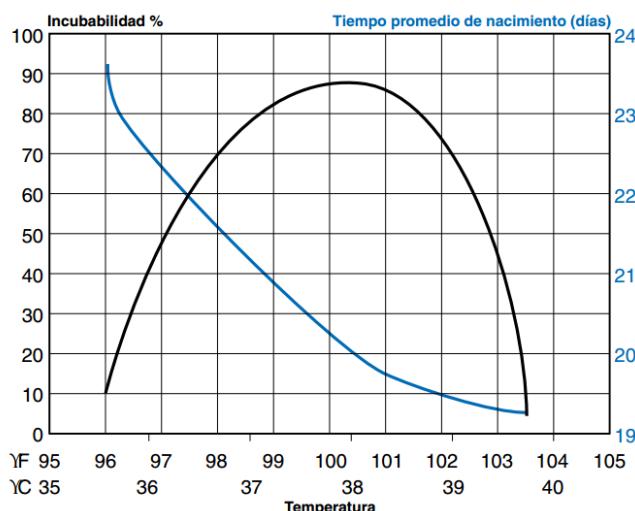


Figura 6. Relación entre tiempo de nacimiento promedio, incubabilidad y temperatura.
Extraido de “Guía de manejo de la incubadora” por Cobb, 2013.

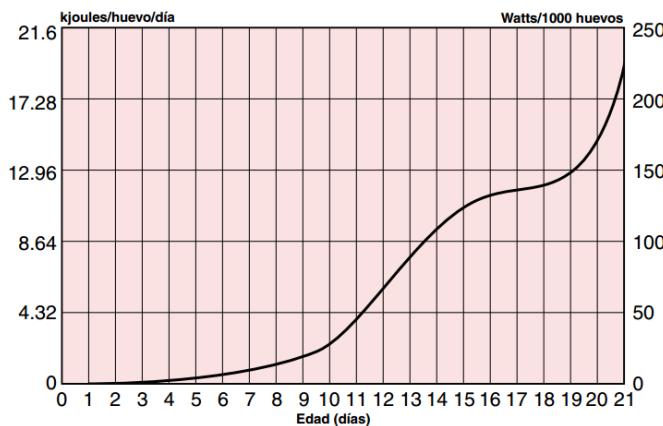


Figura 7. Producción de calor de los huevos en el proceso de incubación.
Extraido de “Guía de manejo de la incubadora” por Cobb, 2013.

3.7. Humedad dentro de la incubadora

La humedad no es tan crítica como la temperatura, los huevos presentan naturalmente una tolerancia a la humedad sorprendente, en general un huevo debe de perder entre el 12 y 15% (ver figura 8) de su peso en todo el proceso de incubación, para garantizar esta pérdida se ajustan los parámetros de la humedad entre un 55 y 65% en los primeros 18 días, luego se eleva el rango desde el 65 al 75% para los últimos 3 días con el fin de ablandar el cascarón y facilitar la eclosión del polluelo.

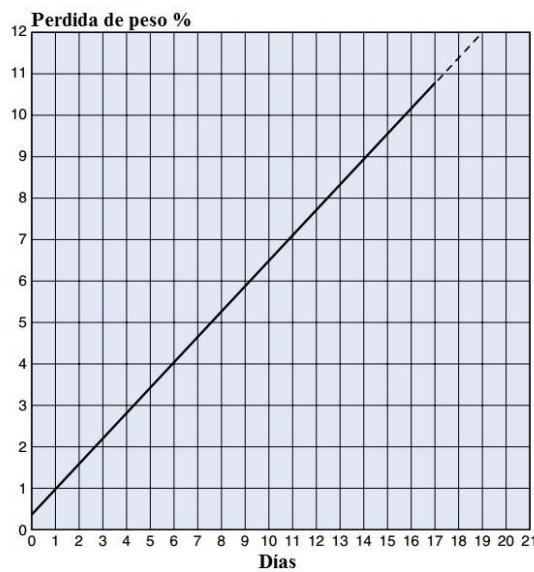


Figura 8. Óptima pérdida de peso de los huevos durante la incubación.
Extraido de “Guía de manejo de la incubadora” por Cobb, 2013.

El objetivo fundamental de mantener estos rangos de humedad es evitar que los huevos pierdan agua mediante la evaporación a través de los poros de la cáscara, la velocidad con la cual la humedad se pierde dependerá directamente del número y tamaño de los poros en el cascarón, debido a la gran diferencia de los cascarones es difícil decir un valor exacto de ajuste para la humedad relativa dentro de la incubadora (Cobb, 2013).

Una humedad excesiva durante los primeros 18 días causará el ablandamiento de los huesos del polluelo y una formación de órganos débiles, una baja humedad podría resecar internamente al polluelo en formación, causando una adherencia al cascarón y posteriormente la muerte.

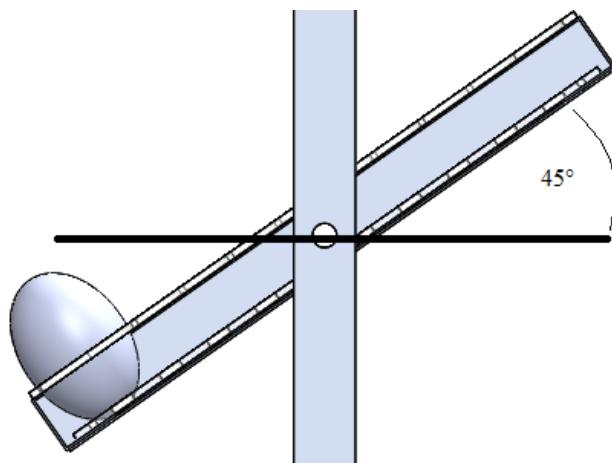
3.8. Rotación y posición del huevo

Naturalmente la gallina volteá los huevos con sus patas rotándolos periódicamente. Es por ello que el desarrollo normal de los embriones se da cuando son volteados con cierta regularidad durante los primeros 18 días de incubación. La rotación de los huevos se realiza por tres razones principales:

- El giro reduce los gradientes de temperatura dentro del huevo y mejora la ventilación.
- Evita que las membranas del embrión se queden pegadas al cascarón durante su formación.
- Estimula una distribución más homogénea de los nutrientes y es crítico durante la primera semana ya que el embrión carece aún de un sistema circulatorio que facilite esta tarea.

Es importante notar que la forma en que son rotados los huevos no tiene un impacto directo en el porcentaje de eclosión, pero las investigaciones concluyen que nunca se debe girar en una sola dirección ya que puede causar un rompimiento en los vasos sanguíneos causando la muerte del embrión (Brower, s.f.).

Según Byerly y Olsen (1933 y 1936) una colocación de los huevos inadecuada, esto es, cargándolos invertidos con el extremo más agudo hacia arriba, ocasiona una reducción del 50% en el total de nacimiento, esto es debido a que el embrión adopta una posición transversal a lo largo del eje menor alejándolo así de la cámara de aire que se encuentra en el lado opuesto, dificultando su respiración en el momento de la eclosión. La posición correcta del huevo será con su extremo más agudo hacia abajo (ver figura 9), de esta manera cuando el embrión este definiendo su posición (las primeras 48 horas) descansará en la yema, posteriormente la cabeza del embrión comenzará a aproximarse a la cámara de aire.



*Figura 9. Posición del huevo dentro de la bandeja de incubación y ángulo de rotación sobre la horizontal.
Elaboración propia.*

La falta de volteos dentro del proceso de incubación reducirá notablemente el porcentaje de eclosiones, tanto el ángulo de volteo como su periodicidad tiene vital importancia para conseguir una máxima incubabilidad (ver tabla No.5 y tabla No.6).

Tabla 5
Efectos del ángulo de volteo de los huevos sobre la incubabilidad

Angulo de volteo sobre la vertical del huevo	% de Incubabilidad de los huevos fértiles
20	69.3
30	78.9
45	84.6

Nota: Adaptado de “Manual de producción avícola” por (North & Bell, 1993)

Tabla 6
Efectos del número de volteos de los huevos sobre la incubabilidad

# de volteos diarios, primeros 18 días	% de Incubabilidad de los huevos fértiles
2	78.1
4	85.3
6	92.0
8	92.2
10	92.1

Nota: Adaptado de “Manual de producción avícola” por (North & Bell, 1993)

3.9. Miraje y desarrollo del embrión

Ovoscopía o miraje es un proceso utilizado para observar el contenido interno de un huevo y así determinar la fertilidad y el estado de desarrollo del embrión, se basa en poner el huevo a trasluz y observar ciertas descripciones morfológicas dependiendo del día de incubación. La herramienta utilizada se llama ovoscopio (ver figura 10) la cual es prácticamente una linterna con adaptaciones específicas para este trabajo, antiguamente los granjeros utilizaban una vela en un cuarto oscuro para realizar el miraje. En la figura 11 se puede observar los resultados esperados después de un proceso de miraje exitoso.

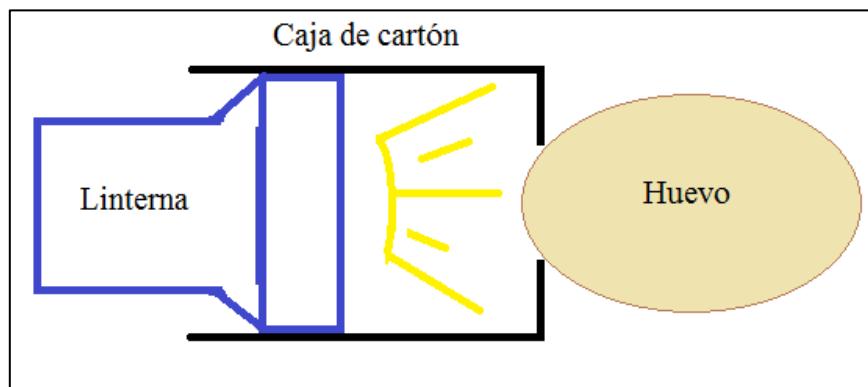


Figura 10. Ovoscopio casero, simple y efectivo utilizado por muchos criadores de aves.
Elaboración propia.

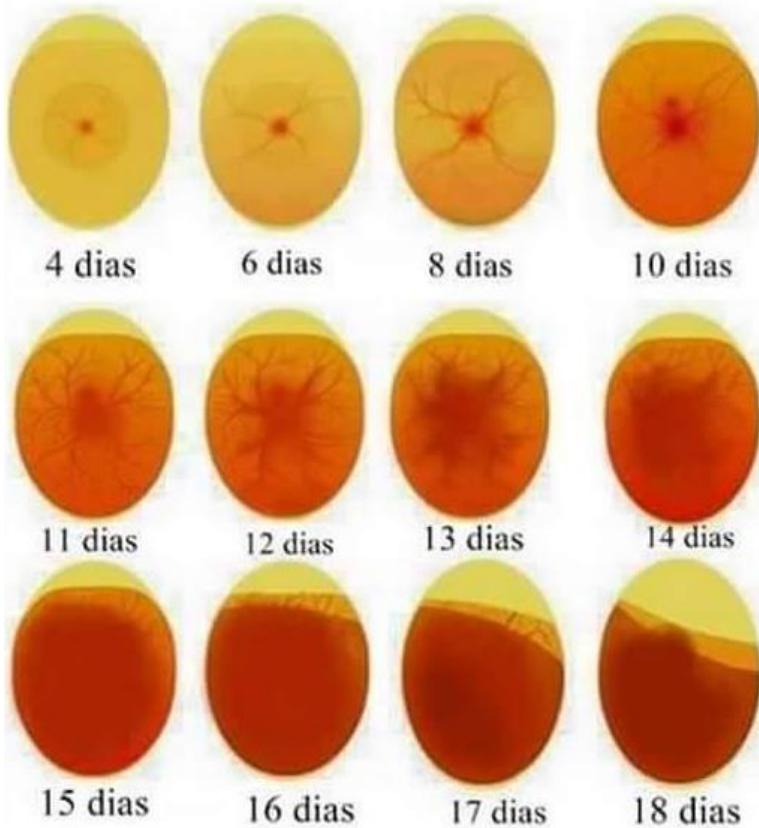


Figura 11. Proceso de desarrollo embrionario observado mediante un ovoscopio.

Según Roberto Soares (2008) el miraje es sumamente importante dentro del proceso de incubación, cualquier resultado fuera de lo normal puede ser explicado a través de un análisis de los huevos. Una monitorización activa ayudaría a encontrar las posibles causas de problemas en tiempos muy cortos, mejorando la incubabilidad y aumentando la eficiencia del sistema.

Se recomienda hacer la ovoscopía antes de iniciar el proceso de incubación, de esta manera se asegura que el huevo no tenga grietas que sean difíciles de visualizar a simple vista. Una segunda es recomendable en el séptimo día de incubación, aquí se descartarán los huevos que se vean claros ya que son infértils, estos huevos aún son aptos para el consumo humano. La tercera y última se debe realizar el día 18, ésta determinará cuantos huevos son aptos para eclosionar, el resto deberá de ser desecharo ya que debido a la pérdida de agua por evaporación su sabor no será óptimo para el consumo humano.

La tabla No.7 explica las distintas etapas morfológicas que sufre el embrión durante la incubación. En la etapa final ésta tabla nos ayudará a comprender e identificar las causas de la muerte embrionaria que se den en el proceso.

Tabla 7
Resumen del desarrollo de un embrión durante los días de incubación

Días de incubación completos	Tamaño del embrión en cm	Acontecimientos visibles
3	1	Brotes de patas y alas visibles, amnios ^a rodea al embrión.
4	1.3	Emбриón totalmente hacia la izquierda.
5	-	Primeros movimientos del tronco, se tabica el corazón.
6	1.8	Primer esbozo ^b del pico, 4 dedos visibles en las patas.
7	-	Principio de sacos aéreos, 7 esbozos de hileras de plumas.
8	2.2	Cuello bien diferenciado y miembros articulados.
10	-	Esbozos de la cresta, principio de cierre de párpados.
12	4.5	Plumón visible en alas.
14	-	Cuerpo enteramente cubierto de plumón, ojos cerrados.
16	-	Comienzo de orientación del cuerpo según el eje del huevo.
18	-	Cabeza inclinada hacia la derecha e introducida bajo el ala.
19-20	-	Pico en la cámara de aire, inicia respiración pulmonar.
21	-	Eclosión.

Nota: Adaptado de “Embriodiagnosis y ovoscopia. Análisis y control de calidad de los huevos incubables” por (Ricaurte, 2005) .^a Membrana más interna de las que envuelven el embrión de los mamíferos, aves y reptiles y que permite su desarrollo en un medio líquido. ^b Diseño que solamente contiene los elementos esenciales.

4. Mercado de incubadoras

En este apartado se explicará un poco sobre la actualidad del sector avícola nacional, se mencionará el consumo per cápita de carne de pollo hondureño, las empresas productoras, su porcentaje de participación y la evolución que estas han tenido. Se expondrá un análisis de incubadoras fabricadas en el extranjero, y fabricadas nacionalmente. Por último, se realizará una comparativa de las distintas tecnologías con el fin de establecer un panorama específico hacia dónde dirigir el desarrollo del prototipo.

4.1. Producción Avícola nacional

A continuación, se tratará de hacer un resumen del panorama actual de la industria avícola hondureña, se destacarán los principales participantes en el mercado y la evolución que han tenido hasta la actualidad. Es importante determinar que el mercado se divide en dos productos importantes: la carne de pollo y los huevos de mesa. El análisis se centrará en las empresas dedicadas al primero producto, es aquí donde se da la mayor demanda de polluelos para engorde.

Según los datos de la Asociación Nacional de Avicultores (ANAVIH), para el 2015 la producción estimada de carne de pollo rondaba los 90 millones de aves para consumo anual, las cuales abastecen en casi su totalidad la demanda del mercado nacional. Sin embargo, el sector enfrenta algunos problemas como ser: la devaluación rápida de la moneda, insumos y maquinaria con altos costos, alta tecnología a precios pocos asequibles para mantener un control de calidad (ANAVIH, 2015).

4.1.1. Importancia de la industria avícola para Honduras

Como se ha mencionado Honduras es un país agrícola, la producción agropecuaria es fundamental para mejorar los índices de desarrollo considerando su aportación al PIB⁵.

⁵ Producto Interno Bruto es una magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país, para el 2015 aportaba un 5%.

De este dependen otros sectores económicos como ser el financiero, la producción de granos, el transporte, importación de insumos, exportación y comercialización de productos finales.

Se estima que el sector avícola genera 12,500 empleos directos y unos 150,000 empleos indirectos. Por otra parte, contribuye al crecimiento agropecuario en un 18% al consumir el 100% de la producción nacional de sorgo y el 50% de la producción nacional del maíz (Ardón, 2016), además sirve de sustentación y reemplazo cuando el precio de otras carnes se incrementa.

4.1.2. Producción, oferta y demanda

Según los datos proporcionados por la ANAVIH (2015) en Honduras existen aproximadamente 49 granjas que se dedican a la carne de pollo, el 54% de estas se encuentran ubicadas en el departamento de Cortes y Francisco Morazán, el resto se encuentran dispersas por todo el territorio nacional.

Honduras posee un mercado de pollo concentrado y oligopólico donde las empresas CADECA, PRONORSA y Cortijo manejaban el 91% de la producción nacional para el año 2010, cabe mencionar que estas empresas no trabajaban a su capacidad máxima por lo que se estima que podían satisfacer en un 100% la demanda nacional. El restante 9% se distribuía entre el resto de productores (CDCP, 2011).

La figura 12 muestra la evolución de la producción de carne de pollo en Honduras, el análisis se centrará en el año 2010 ya que es la fecha de la cual se tienen registros de producción de las tres empresas más grandes, de esta manera se determinará cual es el grado de participación de cada empresa, así como la participación de los pequeños productores.

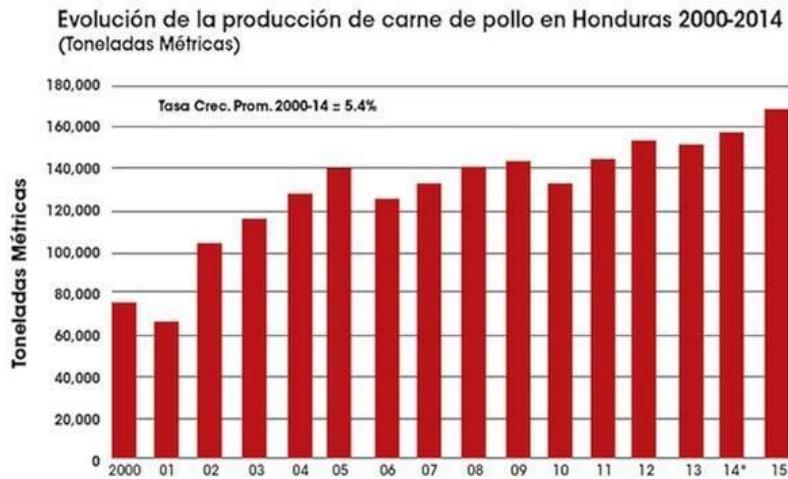


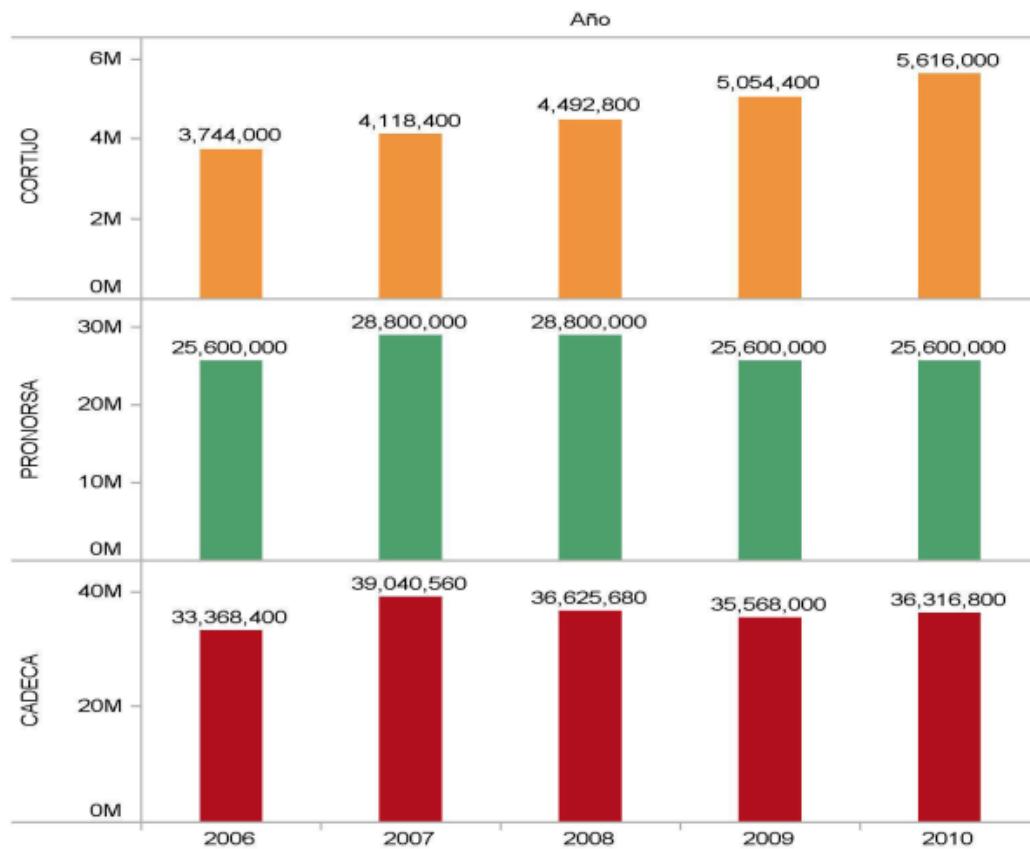
Figura 12. Evolución de la producción de carne de pollo en Honduras 2010-14.
Elaboración propia a partir de los datos de FAOSTAT.

Las granjas en Honduras tienen niveles de eficiencia altos, la mayoría afirman que sus tasas de conversión alimenticia ronda las 1.7 libras de alimento por libra de carne producida, el promedio mundial es de 1.6 libras. En cuanto al tiempo de engorde duran aproximadamente 5 semanas dando como promedio producciones de 4 libras por ave (CDCP, 2011). Observando los datos de la figura 13, se puede afirmar que las tres empresas tenían una producción anual aproximada de 270 millones de libras de carne de pollo para el año 2010. Según la FAOSTAT la producción de Honduras para el año 2010 fue de 296 millones de libras, siendo 26 millones proporcionados por los demás productores, la tabla No.8 muestra la participación de los distintos productores.

Tabla 8
Participación de las empresas productoras de carne de pollo en Honduras

Empresa	% de Participación
CADECA	49
PRONORSA	35
Cortijo	7
Productores pequeños	9

Nota: Elaboración propia a partir de los datos de la CDCP, 2011.



*Figura 13. Evolución de la producción en términos de pollos por año.
Extraido de “Estudio sectorial sobre el mercado avícola en Honduras” por CDPC 2011.*

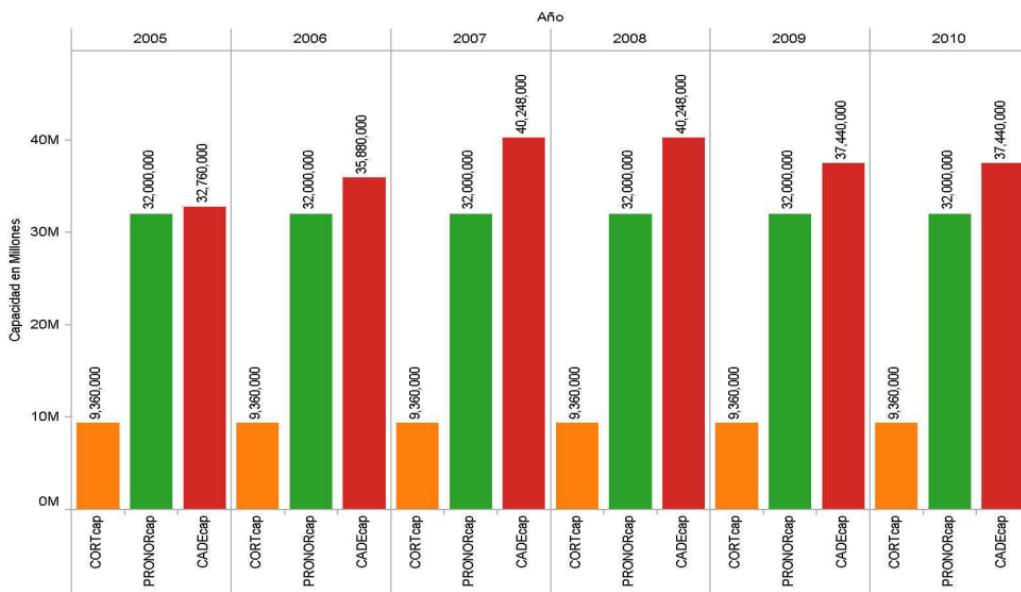
El mercado no ha tenido importantes inversiones en los últimos años por lo que se puede asumir que los porcentajes de participación aún se mantienen. La producción de carne de pollo para el año 2014 fue de aproximadamente 350 millones de libras aumentando el consumo per cápita hasta las 44 libras de pollo, un poco por debajo de la media latinoamericana que ronda las 60 libras (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la ganadería, 2014).

4.1.3. Evolución y competencia del sector

La explotación del sector avícola ha tenido un gran crecimiento en los últimos 20 años. De todas las áreas agropecuarias ha sido la que más se ha industrializado, alcanzando

unos niveles de producción eficiente comparables con las industrias de países del primer mundo. Para el año 2010 se había hecho una inversión acumulada de 10 mil millones de lempiras, tecnificando todas sus plantas con tecnología extranjera, mismas que aumentaron la productividad de las tres empresas más grandes consolidando el mercado y haciendo muchos pequeños productores salieran al no poder competir.

La figura 14 muestra la evolución en cuanto a capacidad instalada que tuvieron las principales empresas desde el 2005 hasta el 2010, la empresa de mayor crecimiento ha sido CADECA en tanto PRONORSA y Cortijo se han mantenido, el resto del mercado se compone por empresas de tamaños ínfimos con respecto a estas empresas cuyas cantidades producidas no influyen mucho en el análisis en general.



*Figura 14. Evolución de la capacidad instalada de las principales empresas.
Extraido de “Estudio sectorial sobre el mercado avícola en Honduras” por CDCP 2011.*

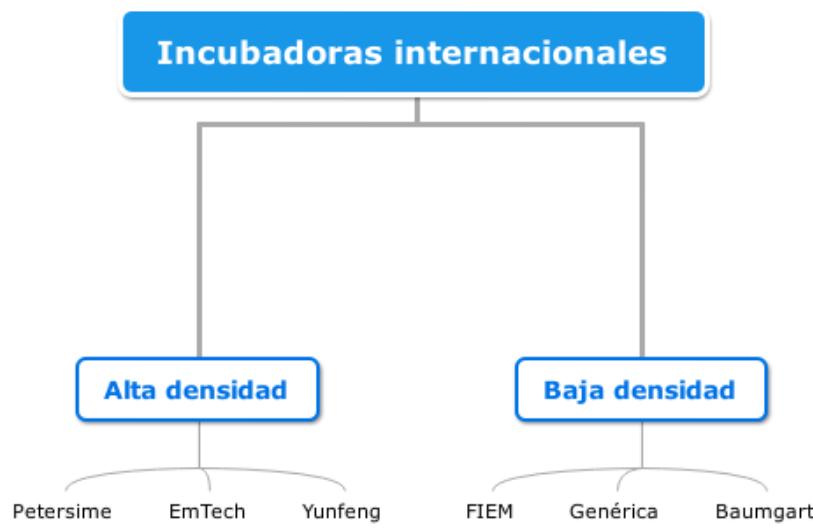
Se había mencionado que el sector avícola hondureño se encuentra concentrado algo que no necesariamente implica una desventaja ya que pudo obedecer a un proceso de consolidación de empresas que han invertido e innovado agresivamente para volverse más competitivas, pero que dificultan el ingreso a nuevos competidores. Las empresas

más grandes han afirmado que casi no compiten entre ellas en calidad ni precio, ya que es muy similar, y tratan de competir en publicidad, variedad y presentación de sus productos. Por otra parte, los pequeños productores compiten en precio en aquellos lugares donde las grandes empresas no pueden llegar o se eleva el costo de transporte (CDCP, 2011).

4.2. Incubadoras internacionales

Debido a que el mercado de incubadoras internacionales es demasiado amplio, se procederá a mencionar algunas de alta densidad, con el fin de tener una idea en cuanto a tecnología y precios.

Se pondrá más énfasis en describir aquellas incubadoras de baja densidad (menor a los 500 huevos) ya que el prototipo estará dentro de este rango, esto servirá de panorama general para observar que tecnologías de las incubadoras de alta densidad podrán ser utilizadas en tecnologías de baja densidad para así obtener un prototipo con mejores prestaciones, la figura 15, muestra el esquema que se seguirá para detallar las mismas.



*Figura 15. Resumen del análisis de incubadoras.
Elaboración propia.*

4.2.1. Incubadoras Petersime alta densidad

Petersime es una empresa que se dedica a la fabricación de incubadoras de altas prestaciones, sus inicios se remontan al año 1912. Su sede principal se encuentra en Bélgica, posee oficinas en Brasil, China, Rusia, Malasia e India y una red comercial presente en todo el mundo, en Honduras se comercializa bajo la Distribuidora y Agropecuaria Distatyr.

Su última tecnología se lanzó en el año 2010, la gama S-line: incubadoras y nacederos de carga única de última generación con una capacidad entre los 14,112 y los 115,200 huevos de pollo, pavo o pato. La gama S-line optimiza el rendimiento de la planta de incubación, incubando no solo más pollos, sino también pollos de mejor calidad y reduciendo los costes de energía, mantenimiento y mano de obra. La nueva gama ofrece la tan esperada respuesta a las plantas de incubación que desean maximizar sus rendimientos económicos. BioStreamer es el modelo superior de la gama S-line. Este modelo se recomienda para las plantas de incubación que quieren alcanzar el mayor número posible de pollos y la mejor calidad de forma totalmente automática (Petersime, 2017).

BioStreamer incorpora una interfaz de usuario exhaustiva y funciones de piloto automático según los parámetros de Embryo-Response Incubation, la figura 16 muestra un ejemplar de uno de sus modelos. A continuación, se detalla algunas de sus características más importantes:

- Incubadoras y nacederos para huevos de pollo, pavo, oca y pato.
- Capacidad de 19,200 a 115,200 huevos.
- Con la tecnología patentada basada en la respuesta del embrión (Embryo-Response Incubation) de Petersime, que proporciona un control automático del entorno: la tecnología CO2NTROL para niveles óptimos de CO₂, OvoScan

para una temperatura ambiente adecuada y Dynamic Weight Loss System para una humedad apropiada.

- Reducción de los gastos energéticos gracias a una cabina sellada, un sistema de refrigeración eficaz y la tecnología Eco-Drive.
- Control de red mediante el protocolo IrisLink, que permite iniciar sesión a distancia en una incubadora para consultar y controlar todos los parámetros.
- La función Eye-Blink que detecta de manera automática la presencia de una persona delante de la incubadora sin ningún tipo de interacción con la interfaz de usuario.
- El sistema de control Bio-Iris con mayores capacidades de procesamiento, de refrigeración y de expansión de E / S integradas para adaptarse a las evoluciones futuras.
- Ventanas panorámicas.
- Sistema de volteo de bandejas autoposicionador e infalible.
- Bioseguridad mejorada gracias a una nueva junta de cabina, que garantiza un entorno completamente protegido para el embrión.
- La suciedad no queda atrapada, lo que facilita la limpieza (incluso con un limpiador de agua a alta presión).
- Mantenimiento mínimo debido a una mayor utilización de componentes sin mantenimiento y de materiales duraderos, como el aluminio anodizado y el acero inoxidable.



*Figura 16. Incubadora Petersime de la gama S-Line.
Extraída de www.Petersime.com*

4.2.2. Incubadoras EmTech alta densidad

EmTech Hatchery Systems es una empresa con sede en Reino Unido relativamente nueva, su desarrollo se basa en la gran experiencia adquirida en incubación de criaderos y la tecnología de la ventilación en los últimos 25 años. La mayoría de los sistemas de EmTech, se encuentran disponibles con la más amplia gama de tipos de bandejas de huevos, para adaptarse a casi todos los criaderos comerciales en todo el mundo e incorporar una serie de innovaciones sofisticadas, para el control y gestión para simplificar la operación y eficiencia energética.

Una de sus gamas más avanzada es la PrimoTech que consta de un sistema basado en carritos para operación de cargue único, con capacidades del rango desde 9,072 a 134,640 de huevos de pollo. Es su sistema de incubación premier, diseñado para plantas de incubación que disponen de lo último en control y monitoreo sofisticado (tecnología Eclipse) basado en PLC, junto con el más productivo y efectivo rendimiento. PrimoTech cuenta con muchas características únicas que aseguran que ancho de banda de la temperatura nunca este fuera de 0.3°C para generar una ventana de nacimientos lo más corta posible lo cual maximiza la cantidad y calidad del pollo (EmTech, 2017).

La figura 17 muestra el gabinete de incubación por dentro, se pueden apreciar las carretillas donde reposan los huevos y el panel del control entre las dos puertas. A continuación, algunas características importantes:

- Exclusivo diseño del gabinete para un rendimiento óptimo con puertas herméticas, apertura de cinturón y amortiguadores que permiten un calentamiento rápido y una avanzada concentración de CO₂.
- El marco de palas de acero inoxidable incorpora un ventilador bidireccional con control de velocidad automático para ambos sentidos, que ofrece el máximo control de la horquilla de temperatura.
- Hay 4 calentadores eléctricos en U montados sobre cada marco de palas que proporcionan 3kW de potencia calorífica para un rápido calentamiento.
- Conductos de enfriamiento muy efectivos y regulares que proporcionan a cada sección de control de la incubadora un flujo de agua de refrigeración en tres etapas de 2, 4 y 6 litros por minuto para alcanzar la máxima eficiencia en cuanto a consumo de energía y control de temperatura.
- Control Eclipse: un sistema basado en PLC⁶ de Omron, que puede manejarse manualmente o de manera totalmente automatizada.
- La bioseguridad, la facilidad de limpieza y el mantenimiento han sido tenidos en cuenta en cada una de las etapas del desarrollo del PrimoTech, desde el diseño del gabinete y los carros hasta el acceso a los servicios.
- La detección individual de carros y el sistema de alarma de girado proporcionan un monitoreo continuo y preciso del proceso de girado de bandejas.

⁶ Del inglés Programmable Logic Controller es dispositivo utilizado para el control y automatización de proceso.



*Figura 17. Incubadora EmTech de la gama PrimoTech.
Extraído de www.emtech-system.com*

4.2.3. Incubadoras Yunfeng alta densidad

Yunfeng comenzó su producción cerca de 1978, actualmente es líder de incubadoras manufacturadas en China, sus productos cubren cerca de 30 países y poseen envíos a todo el mundo mediante alianzas con terceros. Yunfeng produce principalmente incubadoras a gran escala, incluyendo incubadoras de etapas múltiples e incubadoras de una sola etapa, sus capacidades van de 19,200 a 115,200 huevos de gallina, pato, ganso, codorniz y otros. La gama más emblemática para esta empresa es la XF (ver figura 18) disponiendo de modelos que van desde los 45,360 a los 90,720 huevos (XF45 y XF90 respectivamente) (Yunfeng, 2017). A continuación, las características más destacables:

- Alta capacidad de eclosión y ahorro energético.

- Interfaz HMI⁷ mediante un panel táctil de alta prestación.
- 100 días de respaldo de datos de incubación.
- Todas las piezas utilizadas son de marcas reconocidas internacionalmente.
- Sensor de temperatura fabricado en Alemania.
- Todas las maquinas poseen un controlador de respaldo de seguridad.
- Tres capas de aislamiento térmico.
- Aspas de ventiladores hechas de aluminio.



Figura 18. Incubadora Yunfeng de la serie XF75.
Extraída de www.cnincubator.com

⁷ Del inglés human machine interface, es la interfaz por la cual el usuario se comunica con la máquina.

4.2.4. Incubadora FIEM MG50 baja densidad

FIEM es una empresa española que se dedica a la fabricación de incubadoras desde 1975, posee ventas directas a través de Amazon y eBay. La incubadora MG 50 Junior Special está provista de un sistema de volteo de los huevos automático ya incluido en la máquina (o manual, si se solicita) gracias a una rejilla universal idónea para todos los tipos de huevos y con posibilidad de exclusión del movimiento (durante la fase de eclosión) simplemente retrayendo el cajón aproximadamente un centímetro. Además, dichas máquinas han sido construidas enteramente con materiales tratados que permiten una fácil y completa limpieza y garantizan siempre una temperatura constante en el interior de la máquina. Es la más pequeña de la gama tradicional. (FIEM, 2017). A continuación, se presentan algunas de sus características:

- La lectura de la temperatura se realiza a través de un termómetro de precisión en °F con relativa funda removible para una fácil limpieza.
- Una mirilla en la puerta permite ver perfectamente el interior de la incubadora.
- Un termostato electrónico analógico en banda proporcional de alta calidad y con precisión decimal permite una fácil y precisa regulación de la temperatura.
- La máquina está ventilada y el recambio de aire con consiguiente expulsión de anhídrido carbónico se realiza a través de los orificios de aireación.



Figura 19. Incubadora MG50.
Extraído de www.incuber.es

4.2.5. Incubadoras Genéricas baja densidad

Pocas características se saben de estas incubadoras, pero es notable que el mercado está inundado de ellas (Amazon e eBay), poseen precios realmente asequibles, pero es evidente que la garantía de calidad es casi inexistente. Generalmente están fabricadas en china y no poseen una marca en particular, son fácilmente identificables debido a su forma prefabricada y a una tarjeta controladora que incluso se puede comprar por aparte. Sus capacidades pueden ir desde los 20 hasta los 200 huevos, tienen un nivel de control de temperatura aceptable y no poseen ningún tipo de aislamiento térmico por lo que el consumo energético es alto. La figura 20 muestra un ejemplar con capacidad para 48 huevos, como se puede observar su estructura física es de plástico extruido y tiene empotrada la tarjeta controladora en la parte posterior, no posee ninguna marca visible que la identifique con alguna empresa.



*Figura 20. Incubadora genérica de 48 huevos.
Extraído de www.amazon.com*

4.2.6. Incubadoras Baumgart baja densidad

Dentro del mercado centroamericano de fabricantes de incubadoras solo se pudo encontrar esta empresa con sede en Guatemala, sus inicios datan del año 1982 cuando empezaron a fabricar las primeras incubadoras. Todos los modelos que fabrican son de baja capacidad llegando hasta los 432 huevos, cabe mencionar que las incubadoras que fabrican son semiautomáticas ya que los sensores que utiliza son analógicos y no controlan algunos parámetros de la incubación. La incubadora Baumgart con capacidad para 42 huevos se muestra en la figura 21, se puede observar los elementos de ventilación y calefacción, así como el sensor analógico de temperatura (parte superior de la figura), la bandeja de color amarillo es donde reposarán los huevos durante el proceso.



Figura 21. Incubadora Baumgart de 42 huevos.
Extraído de www.incubadorasyavesbaumgart.blogspot.com

4.2.7. Cuadros comparativos

A continuación, se muestra un resumen comparativo entre los distintos fabricantes. Para ello, se tomaron incubadoras de gamas muy similares dividiendo sus productos en baja y alta densidad.

Tabla 9
Comparativa de las distintas incubadoras de alta densidad

Característica	BioS-8s	PT8150	YXF45
Fabricante	Petersime	EmTech	Yunfeng
Capacidad	38,400	43200	45360
Control	Automático	Automático	Automático
Calefacción	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
Refrigeración	Aqua	Aqua	Aqua
Humidificación	Por aspersión	Por aspersión	Por aspersión
Voltaje	400V/3f/50-60 Hz	400V/3f/50-60 Hz	380V/3f/50-60 Hz
Consumo	8.5 kW	7.8 kW	5.2 kW
Desinfección auto.	Si	no	no
Alarmas	exhaustivo	normal	simple
Registro de datos	exhaustivo	normal	simple
Precio sin envío			
USD	33,000	30,000	20,000
Lempira	782,000	711,000	474,000

Nota: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos por los fabricantes

Tabla 10
Comparativa de las distintas incubadoras de baja densidad

Característica	Baumgart 42	Genérica	FIEM MG-50
Capacidad	42	48	50
Control	Semiautomático	Semiautomático	Semiautomático
Calefacción	Eléctrica	Eléctrica	Eléctrica
Refrigeración	Ventilador	Ventilador	Ventilador
Humidificación	Evaporación	Evaporación	Evaporación
Voltaje	110-220V/50-60 Hz	110-220V/50-60 Hz	110-220V/50-60 Hz
Potencia	90W	80W	100W
Alarmas	no	simple	no
Estructura	Madera	Plástico	Madera laminada
Precio sin envío			
USD	218	99	680
Lempira	5,100	2,300	15,960

Nota: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos por los fabricantes

4.3. Incubadoras nacionales

No existe un mercado de incubadoras tecnificadas hechas en Honduras, la mayoría de granjeros compra los polluelos a terceros y otra parte muy pequeña incuba sus huevos con incubadoras artesanales, según la CDCP (2011) el 56% de los productores compra sus polluelos a empresas nacionales y un 33% poseen producción propia, esto significa que los productores pequeños dependen directamente de las empresas que venden el polluelo, también dependen de la línea genética que estas venden. Hay que recordar que la tasa de participación está abarcada en gran parte por solo 3 empresas por lo que

el 33% realmente significa una producción de polluelos insignificante. Las empresas líderes del mercado avícola nacional poseen incubadoras propias debido a que poseen una estructura de organización vertical, muchas de ellas venden a terceros y sus precios pueden oscilar de los 13.5 a los 15 lempiras por polluelo (ver Tabla No.11).

Tabla 11
Empresas incubadoras nacionales

Procesadora	Planta de incubación	¿Vende a terceros?	Precio Lempiras
PRONORSA	RASA	Si	14
	RASA B		
CADECA	Incubadora Sosod Incubadora Comayagua Incubadora Sagastume	Si	14
Cortijo	Incubadora Oak Crest	No	-
Aviasa	Incubadora Aviasa	Si	13.5
Comerciante individual	-	Si	15

Nota: Elaboración propia a partir de datos obtenidos por la CDCP y personal de las plantas.

Se desconoce la información acerca de los modelos utilizados para incubar los huevos, las tres empresas afirmaron haber comprado las incubadoras directamente en el extranjero y tanto el soporte técnico como las reparaciones son hechos por las empresas extranjeras. Por otra parte, un granjero expreso que otra persona les había fabricado dos incubadoras partiendo de refrigeradoras viejas y que tienen tasas de eclosión del 50%.

5. Diseño y desarrollo del prototipo

En este capítulo se explica en detalle el proceso y los criterios que se tomaron para la fabricación del prototipo teniendo como base la información recabada hasta el momento, la teoría fundamental de incubación y los modelos de incubadoras que se comercializan internacionalmente. La figura 22 muestra el aspecto físico del prototipo final y la tabla No.12, nos muestra una comparación detallada entre el prototipo obtenido y los modelos comerciales.

Tabla 12
Comparación de algunos modelos comerciales con respecto al prototipo

Características	Prototipo	MG-50	Baumgart 42	Genérica
Capacidad de huevos	40	50	42	48
Nacedero automático	Si	No	No	No
Sensor de temperatura	Digital	Digital	Analógico	Digital
Sensor de humedad	Digital	Digital	No	Digital
Control de calefacción	Encendido/apagado	Encendido/apagado	Encendido/apagado	Proporcional
Control de ventilación	Proporcional	Encendido/apagado	Encendido/apagado	Proporcional
Control de humedad	No	No	No	No
Estructura	PVC y aluminio	Madera laminada	Madera	Plástico
Volteo automático	si	si	si	si
Potencia	52W	100W	90W	80W
Contador de Tiempo	Si	No	No	Si
Sistemas de alarmas	Avanzado	No	No	Simple
Exportar datos a PC^a	Si	No	No	No
Interfaz con usuario	Avanzado	No	No	Simple
Calibración de bandeja	Si	No	No	No

Nota: Elaboración propia con base en los datos proporcionados por los distintos fabricantes. ^a Del inglés Personal computer o computadora personal por su traducción al español.



*Figura 22. Prototipo de incubadora.
A la izquierda se puede ver el diseño en solidworks, A la derecha el montado físicamente.
Elaboración propia*

5.1. Estructura física

Para el diseño y desarrollo de la estructura física se ha recurrido al uso del software de simulación CAD⁸ SolidWorks, en la sección de apéndices se podrán ver todos los planos detalladamente. La estructura física de la incubadora está fabricada principalmente de 2 materiales: Aluminio (para el armazón) y PVC⁹ (para revestimiento del armazón). Las consideraciones para la selección de estos materiales se mencionan a continuación:

PVC

- Fácil de limpiar.
- Buen aislante térmico.
- Ligero y con buena resistencia.
- No es afectado por la humedad.

⁸ Del inglés computer-aided design o diseño asistido por computadora, es una herramienta computacional que ayuda en gran medida al diseño y simulación de elementos.

⁹ Policloruro de vinilo, es el derivado de plástico más versátil.

- Soporta temperaturas máximas de 300°C.
- Abundante y con precio asequible en mercados locales.

Aluminio

- No se corroe con la humedad.
- Fácil de limpiar.
- Material ligero, blando y maleable pero con la resistencia necesaria, esto facilita la construcción del diseño.
- Abundante y con precio asequible en mercados locales.

Es común observar a algunos fabricantes utilizar madera para sus incubadoras, si bien es cierto la madera es un material asequible y abundante, presenta dos grandes inconvenientes, el primero es facilitar la proliferación de agentes patógenos ya que la madera es un material orgánico, y el segundo es presentar una reacción desfavorable ante la humedad lo que dificulta la limpieza.

5.1.1. Dimensiones de la incubadora

El tamaño de la incubadora está determinado por la bandeja para huevos, la bandeja para agua, y la circuitería electrónica, hay que recordar que entre mayor espacio volumétrico tenga, mayor será la energía requerida para calentarlo. Dicho lo anterior se ha dejado espacio suficiente para que los elementos mencionados sean colocados sin dificultad, pero con márgenes de división pequeños. La figura 23 muestra 3 diferentes vistas del prototipo, se ve con detalle las dimensiones de la estructura física (40x35x35.4 cm) y de la puerta (38x35x0.5 cm), al interior de la vista frontal se puede observar como la bandeja de huevos encaja exactamente en el espacio. En el apéndice A, se podrá ver con mejor detalle todas las piezas y sus medidas.

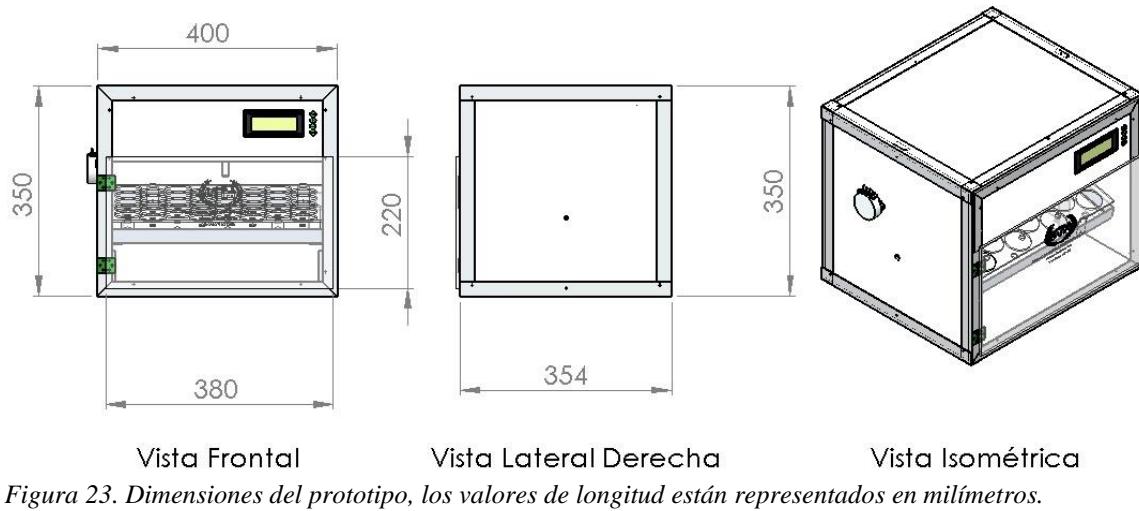


Figura 23. Dimensiones del prototipo, los valores de longitud están representados en milímetros.
Elaboración propia

5.1.2. Bandeja para huevos

En el proceso de fabricación se utilizó aluminio, PVC y acrílico por las propiedades que anteriormente se mencionaron. Consta de un marco hecho totalmente en aluminio, una bandeja superior de acrílico con 40 agujeros de 4.5 cm de diámetro y una bandeja inferior de PVC con 40 agujeros de 1 cm de diámetro, en la figura 24 se pueden observar las 3 piezas y sus dimensiones. Para no cargar tanto la imagen se ha puesto solo las medidas necesarias, en los apéndices se podrá ver con mejor detalle todas las piezas y sus medidas

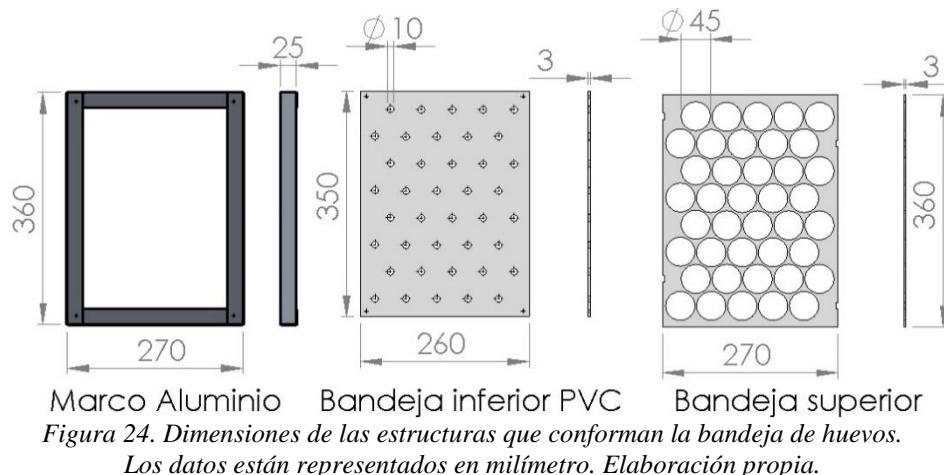


Figura 24. Dimensiones de las estructuras que conforman la bandeja de huevos.
Los datos están representados en milímetro. Elaboración propia.

De lo anterior se puede deducir que la capacidad es de 40 huevos, este número viene dado por dos razones principales:

- El presupuesto asignado para la fabricación del prototipo.
- El rango de capacidad y precio en el que se encontraban las incubadoras internacionales de baja densidad.

La figura 25 muestra el ensamblaje de las piezas, observe como los agujeros de la bandeja superior e inferior quedan concéntricos, de esta manera se asegura que los huevos adopten la posición adecuada y se mantengan en la misma durante el movimiento. El diámetro de los agujeros y la altura de la bandeja (4 cm) son valores aleatorios considerando el tamaño promedio de los huevos de gallina (ver tabla 13). La bandeja superior es fácilmente desmontable, lo que permite ser extraída para el proceso de nacadero (últimos tres días de incubación) asegurando movilidad y libertad al polluelo. La bandeja superior desmontable también permite una fácil limpieza y desinfección una vez termine el proceso de incubación.

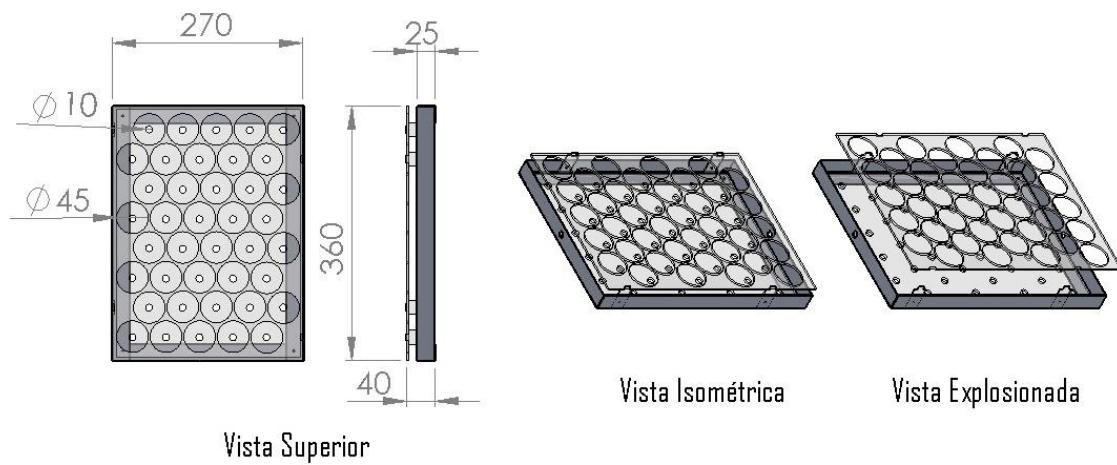


Figura 25. Dimensiones de la bandeja para huevos.
Las medidas están en milímetros. Elaboración propia

Tabla 13
Promedio de las características del huevo de gallina.

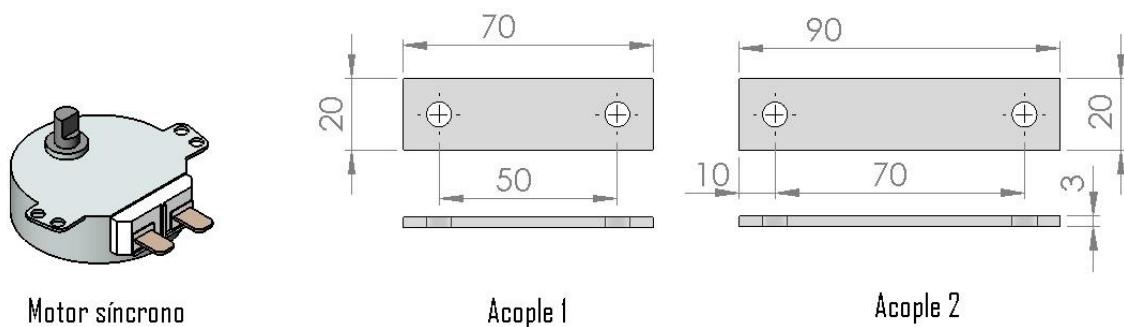
Característica	Promedio
Peso del huevo (g)	55.5
Largo (mm)	6.2
Diámetro (mm)	4.2

Nota: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en www.scielo.org

5.1.3. Mecanismo de rotación.

Está compuesto por un motor síncrono y dos piezas de acople que lo conectan a la bandeja para huevos. La figura 26 muestra las dimensiones de las piezas antes mencionadas. La selección de este mecanismo se debe a las razones que se mencionan a continuación:

- Mecanismo de bajo costo.
- No requiere de muchas piezas adicionales.
- Se logra la rotación de la bandeja en el eje horizontal, lo que permite mantener el huevo estático y solo rotarlo sobre su eje vertical.



*Figura 26. Motor síncrono y sus acoplos.
Las medidas se muestran en milímetros. Elaboración propia*

El tamaño de los acoplos 1 y 2 se determinaron mediante el uso de las formulas (3) y (4), para aprovechar el máximo espacio se determinó un ángulo de rotación de 40 grados sobre la horizontal de la bandeja, aunque el óptimo es de 45.

$$\cos(\alpha) = \frac{\text{adyacente}}{\text{hipotenusa}} \quad (3)$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\text{opuesto}}{\text{adyacente}} \quad (4)$$

$$\text{acople2} = 2 + \text{acople1} \quad (5)$$

La figura 27 es una representación gráfica del mecanismo de rotación, en donde la línea verde simboliza la bandeja para huevos, el punto naranja simboliza el motor, y el arco azul simboliza el ángulo de rotación. Así mismo en la tabla No.14 se dan los valores iniciales para poder resolver el problema.

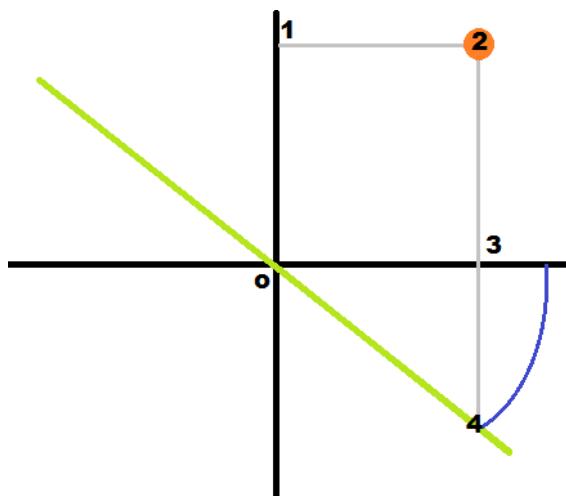


Figura 27. Representación gráfica del mecanismo de volteo.
Elaboración propia.

Tabla 14
Valores iniciales de los elementos del mecanismo de volteo

Variable	descripción	Valor
α	Angulo de rotación	40°
d0	Segmento de línea o3	6cm
d1	Segmento de línea 23	7cm
d2	Segmento de línea 34	? ?
d3	Segmento de línea o4	? ?

Nota: d2 y d3 son los valores que se necesitan encontrar para determinar las dimensiones del mecanismo de rotación. Elaboración propia

Partiendo de las disposiciones anteriores y usando las formulas trigonométricas (3) y (4) se procede a resolver las ecuaciones para determinar el tamaño de las piezas de acople.

$$\tan(40) = \frac{d2}{6}$$

$$d2 = 6 \tan(40)$$

$$d2 = 5.03 \text{ cm}$$

$$\cos(40) = \frac{6}{d3}$$

$$d3 = \frac{6}{\cos(40)}$$

$$d3 = 7.8 \text{ cm}$$

Observando la figura 27 se puede decir que:

$$acople1 + acople2 = d1 + d2$$

$$acople1 + 2 + acople1 = d1 + d2$$

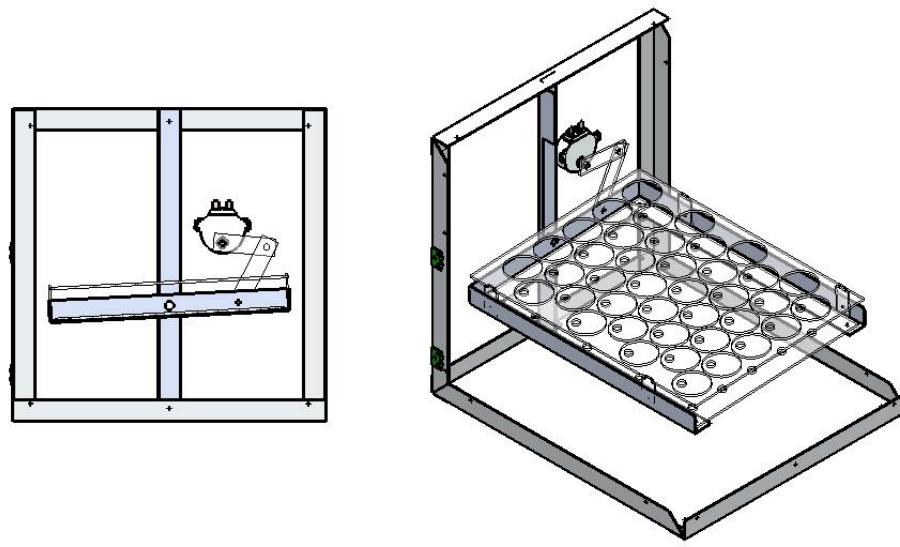
$$2acople1 = 10$$

$$acople1 = 5 \text{ cm}$$

$$acople2 = 7 \text{ cm}$$

De esta manera se obtiene el tamaño entre agujeros concéntricos de las piezas de acople, observe que la posición del motor fue puesta aleatoriamente y está dada por d_0 y d_1 , d_3 representa el punto donde se conectará el acople2 a la bandeja para huevos. La figura 28 muestra el sistema de volteo completamente ensamblado. Note como la formula (5) realmente es una propuesta empírica y está basada solo por el diseño, de tal manera que para evitar la colisión del eje de rotación del motor con la tuerca de conexión a la bandeja de huevo el acople2 siempre será mayor por 2cm que el acople1.

No se hicieron los respectivos análisis sobre fuerzas ni momentos de torsión para saber la capacidad teórica que puede soportar el mecanismo. Se realizaron pruebas durante cinco días aplicando un peso de 3kg (el cual supera los 2.2kg de los 40 huevos promedio) en la bandeja para huevos y se rotaron con una frecuencia de 90 grados por minuto, después de 7,200 rotaciones el sistema no mostro ningún desperfecto, el motor cuyo torque es de aproximadamente 3kgf.cm (ver sección 5.2.5) no presento recalentamiento lo que indica que el torque no está siendo excedido.



*Figura 28. Mecanismo de rotación ensamblado.
Elaboración propia.*

5.1.4. Bandeja para agua

Es difícil determinar con precisión una fórmula para la evaporación y la humedad relativa dentro de una habitación controlada, esto debido a que en ella influyen muchos factores como ser la presión atmosférica, temperatura, radiación, volumen de la habitación y aislamiento. Se ha determinado una formula empírica (6) partiendo de los datos estadísticos y aplicando luego una regresión lineal, estos datos fueron obtenidos al poner distintos recipientes con agua durante un día y luego promediar las lecturas de humedad, los resultados se pueden observar en la tabla No.15.

Tabla 15
Humedad relativa para distintas superficies de evaporación

Superficie (cm ²)	Humedad relativa (%)
225	50
400	55

Nota: Elaboración propia

$$y = 18x - 643 \quad (6)$$

La fórmula (6) indica la superficie de evaporación con respecto al porcentaje de humedad relativa para las condiciones internas dentro del prototipo, y =superficie de evaporación en cm² y x =humedad relativa en %, el coeficiente de correlación es del 0.9 lo que nos indica que los parámetros introducidos tienen un comportamiento lineal. Partiendo de lo anterior fue fácil calcular la superficie para una humedad relativa igual a 60% (valor óptimo para la incubación)

$$y = 18(60) - 643$$

$$y = 437 \text{ cm}^2$$

La bandeja para agua tendrá que tener una superficie próxima a los 437cm². Una particularidad de esta fórmula es que puede dar valores negativos para el cálculo de humedades inferiores al 36%, se podría pensar que el modelo está mal, pero hay que recordar que el aire proveniente del exterior ya trae una humedad implícita y que aun cuando no haya una bandeja la humedad será superior a 0.

Tabla 16
Evaporación diaria dentro de la incubadora a 37.5°C

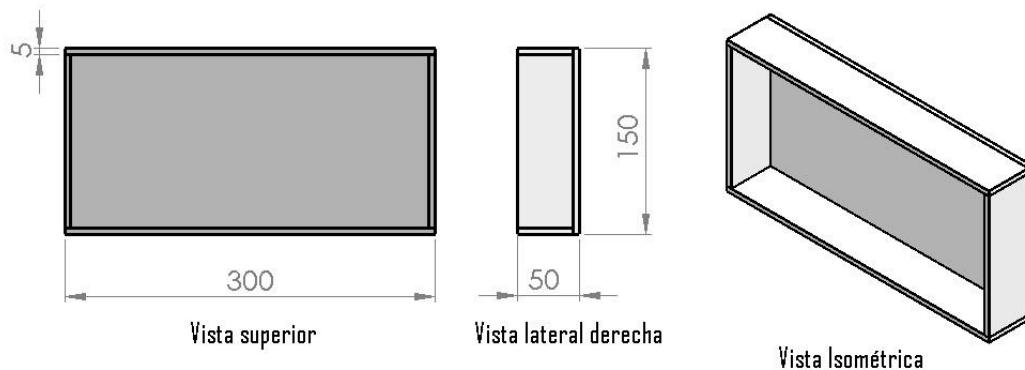
Día	Valor (milímetros)	Humedad Exterior en %	Temperatura promedio exterior en °C
1	1.2	85	25
2	1.6	80	25
3	1.8	85	24
4	2.1	72	26
5	1.7	75	24
6	2.0	78	24
7	1.8	78	26
8	1.7	72	24
9	1.6	78	25
10	1.6	79	23
Promedio	1.7	78	25

Nota: Las pruebas se realizaron para las condiciones meteorológicas de Tegucigalpa entre las fechas 13 y 23 de mayo del 2017. Elaboración propia con base en los datos obtenidos de la plataforma Weatheronline.

Para el diseño de la profundidad de la bandeja se hizo uso de los datos obtenidos al medir la evaporación diaria que tenían los distintos recipientes mencionados anteriormente. La tabla No.16 muestra la cantidad de agua evaporada a lo largo de diez

días, el promedio es de 1.7mm por lo que se puede deducir que la profundidad de la bandeja tendría que ser mayor 36mm para garantizar que ésta no se vacíe durante el proceso de incubación.

Con los cálculos mostrados anteriormente se definió la construcción de una bandeja para agua con dimensiones (30x15x5 cm), cuya superficie de evaporación es igual a 450cm². La figura 29 muestra el diseño final construido en PVC.



*Figura 29. Bandeja para agua.
Elaboración propia.*

5.2. Control electrónico

Para el diseño de las tarjetas se apoyó en tres software de simulación, Livewire para el circuito esquemático, KiCad para la visualización física y PCBwizard para el circuito impreso. Se decidió fabricar toda la parte de control y accionamiento electrónico para abaratar costos, a la misma vez permitió adaptar los recursos a las necesidades que el prototipo requería y no que el prototipo se adaptara a los módulos comerciales, exceptuando el sensor y el LCD¹⁰ que son de terceros, pero que al final son fácilmente

¹⁰ Del inglés Liquid Crystal Display, es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora.

sustituibles por modelos similares, guardando la compatibilidad y mejorando la flexibilidad del diseño.

La figura 30 muestra el diagrama en bloques de todas las partes que componen la electrónica del prototipo, como se puede apreciar es un diseño sencillo. La figura 31 muestra el circuito que se utilizó para fabricar el módulo de control y el módulo de salida, note como en este diagrama pareciera que ambas son una misma tarjeta. La separación de ambos módulos tiene como fin dar una mayor flexibilidad y protección, el módulo de salida está más propenso a sufrir daños (ya que maneja la etapa de potencia), si éste estuviese en la misma tarjeta con el módulo de control sería necesario reemplazar todo.

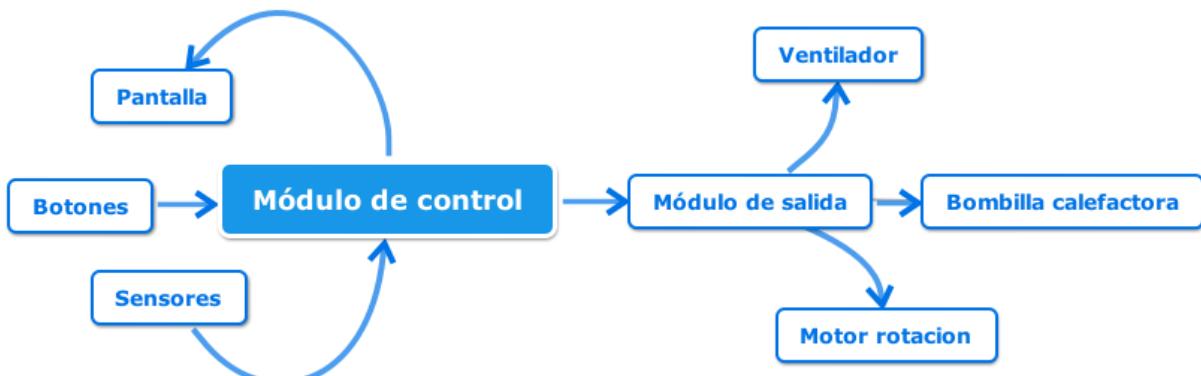


Figura 30. Diagrama en bloque del control electrónico.
Elaboración propia.

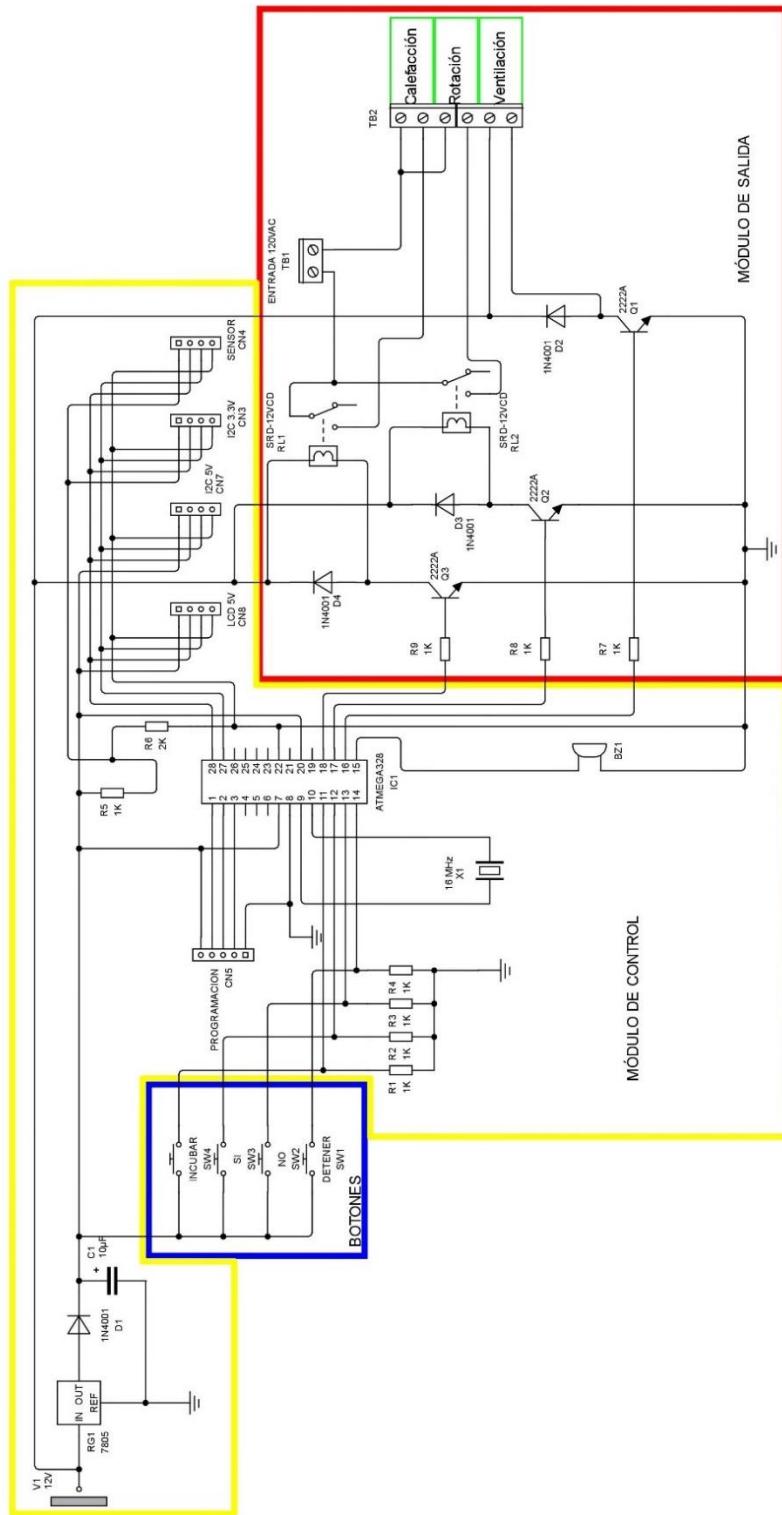
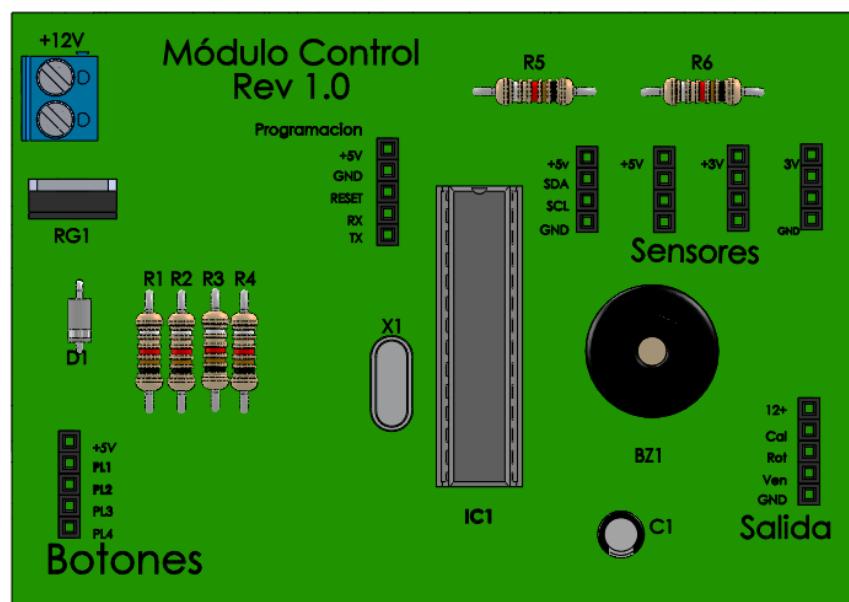


Figura 31. Diagrama esquemático general.
Elaboración propia.

5.2.1. Módulo de control

Esta tarjeta electrónica es la encargada de realizar todas las operaciones de control requeridas en el proceso de incubación que previamente fueron programadas, está basada en el microcontrolador ATMEGA328, posee un diseño flexible y elegante que permiten un fácil manejo. El circuito se puede observar en la figura 31 y la figura 32 el ensamblado físico. En los apéndices se podrá encontrar el circuito impreso que sirvió de base para la fabricación de la tarjeta.



*Figura 32. Módulo de control, ensamblaje físico.
Elaboración propia*

A continuación, se detallan todas las partes del módulo y cuál es la función que cumplen dentro del circuito:

- Entrada 12V: se utiliza este voltaje debido a que los dispositivos de salidas lo necesitan para ser accionados.

- RG1: es un regulador lineal de la serie 7805, transforma los 12 voltios de la entrada a 5 voltios necesarios para que el microcontrolador y los periféricos funcionen, la corriente máxima que puede entregar este dispositivo es de 1.5A, por lo que no hay ningún inconveniente en utilizarlo (ver sección 5.4).
- D1: diodo de propósito general de la serie 1N4001, este dispositivo protege al regulador RG1 contra posibles corrientes inversas que puedan venir cuando se conecta el programador al puerto de programación.
- R1, R2, R3 y R4: son las resistencias pull-down de los pulsadores, se necesitan para activar los estados lógicos (1 y 0), de otra manera si no se conectan podrían quedar en estados indefinidos (debido al ruido) y sería difícil para el microcontrolador determinar el nivel lógico. Su valor es de $1k\Omega$.
- Botones: pines de conexión donde se inserta la interfaz que consta de cuatro pulsadores, de aquí se controlará la navegación dentro del menú programado en el microcontrolador.
- X1: oscilador de cuarzo de 16MHz, crea los pulsos de reloj que necesita el microcontrolador para su funcionamiento, se han eliminado los capacitores de 22pf, lo que afecta mínimamente la frecuencia de oscilación obteniendo un desfase de 30 segundos por cada 24 horas transcurridas.
- Programación: este es un puerto serial, por aquí se podrá establecer una comunicación ya sea para programar el microcontrolador o para extraer datos. Se puede conectar cualquier dispositivo UART¹¹ o incluso la placa de arduino (la cual posee uno implícitamente) en la sección 5.5 se detalla su funcionamiento.

¹¹ Del inglés de Universal Asynchronous Receiver-Transmitter, en español: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal, es el dispositivo que controla los puertos y dispositivos serie.

- IC1: microcontrolador Atmega328p, es el motor de toda la tarjeta electrónica. Su bajo costo y fácil programación lo hacen ideal para integrarlo en la tarjeta, en la tabla No.17 se muestran las características más notables.
- C1: capacitor electrolítico de $10\mu\text{f}$, sirve para filtrar el ruido proveniente de la fuente, si no se conecta es muy probable que entorpezca el funcionamiento del microcontrolador.
- BZ1: este dispositivo emite un zumbido cuando es accionado, emitirá una alarma cuando el controlador lo indique.
- R5 y R6: este conjunto forma un divisor de voltaje, R5 tiene el valor de $1\text{k}\Omega$ y R6 de $2\text{k}\Omega$, al alimentarlos con 5V se obtiene entre ellos 3V, que son necesarios para el correcto funcionamiento del sensor bme280.
- Sensores: Esta etapa posee cuatro puertos de salida con protocolo I2C¹², el cual nos permite conectar hasta 128 dispositivos utilizando solo 2 pines del microcontrolador (SDA¹³ y SCL¹⁴), ahorrando pines de salidas del microcontrolador. En la figura 30 se puede observar que en un puerto se conecta la pantalla y en otro se conecta el sensor bme280, dos puertos quedan libre para futuras actualizaciones
- Salida: Pines de conexión para el módulo de salida, cal, rot y ven son abreviaciones que corresponden a calefacción, rotación y ventilación, son niveles digitales que accionarán a los distintos elementos, mediante estos pines se alimenta también el módulo de salida dándole al diseño una mejor estética.

¹² Es un bus serie de datos desarrollado en 1982 por Philips, se utiliza principalmente para la comunicación entre diferentes partes de un circuito, por ejemplo, entre un controlador y circuitos periféricos integrados.

¹³ Del inglés Serial Data, es una de las dos líneas de comunicación del protocolo I2C.

¹⁴ Del inglés Serial Clock, es una de las dos líneas de comunicación del protocolo I2C.

Tabla 17
Datos técnicos ATMEGA328P

Característica	Descripción
Voltaje	1.8- 5.5 V
Frecuencia máxima	20MHz
Memoria flash de programa	32kB
Memoria SRAM	2kB
Ciclos de escritura	10k Flash / 100k EEPROM
Retención de datos	100 años a 25°C
PWM¹⁵	6 canales
ADC¹⁶	6 canales
I2C	1 puerto
GPIO¹⁷	8 canales
Rango de temperatura	-40 a 105 °C
Consumo de corriente	9mA

Nota: Elaboración propia a partir de los datos proporcionados por el fabricante.

¹⁵ Del inglés de pulse-width modulation, es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica, ya sea para transmitir información a través de un canal de comunicaciones o para controlar la cantidad de energía que se envía a una carga.

¹⁶ Convertidor Analógico Digital.

¹⁷ Pines de entrada y salida de propósito general.

En la tabla No.18 se pueden observar todos los componentes utilizados y sus valores.

Tabla 18
Componentes del Módulo de control

Componente	Descripción	Valor/serie
R1,R2,R3,R4,R5	Resistencia ¼ w	1kΩ
R6	Resistencia ¼ w	2 kΩ
C1	Capacitor 16v	10μf
D1	Diodo de propósito general	1n4001
RG1	Regulador de voltaje lineal	7805
X1	Oscilador de cuarzo	16MHz
Bz1	Zumbador	-
IC1	Microcontrolador	ATMEGA328P

Nota: Elaboración propia

5.2.2. Módulo de salida

Tarjeta fabricada para la ejecución de los accionamientos eléctricos previa orden del módulo de control, se podría decir que en ella está el diseño de la etapa de potencia del prototipo. La figura 33 muestra el montaje físico, partiendo de los datos de la tabla No.19 se diseñó un circuito impreso que cumple con creces la necesidad de potencia de las cargas, las pistas tienen un grosor de 0.05 pulgadas (ver figura 34) permitiendo soportar un máximo de 240W a 120VAC¹⁸.

¹⁸ Voltaje de corriente alterna.

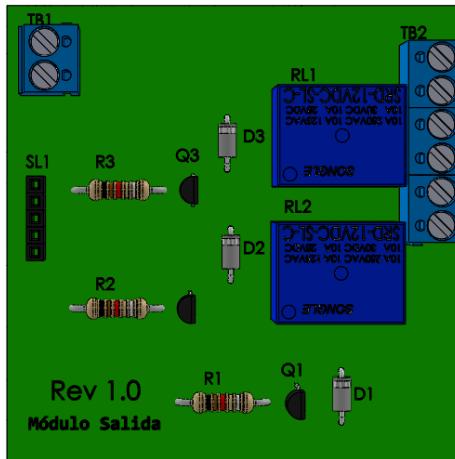


Figura 33. Ensamblaje físico del módulo de salida.
Elaboración propia

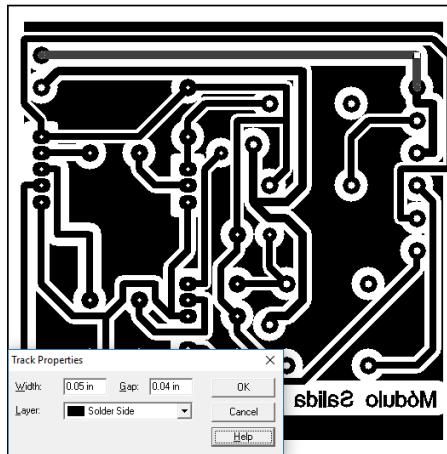


Figura 34. Diseño del circuito impreso del módulo de salida.
Todas las pistas tienen un grosor de 0.05 pulgadas. Elaboración propia.

Tabla 19
Relación corriente-ancho de pista

Ancho de pista en pulgadas	Corriente (A)
0.01	0.3
0.02	0.7
0.05	2
0.10	4
0.15	6

Nota: Elaboración propia a partir de los datos extraídos de www.todopic.com.ar

A continuación, se listan todos los elementos del módulo y su función dentro del circuito:

- TB1: conector de entrada de 120VAC, la distribución del voltaje alterno que requiere el elemento calefactor y el motor síncrono se realiza internamente en la placa, lo que simplifica el montaje y mejora la estética al eliminar cableado externo.
- SL1: puerto de conexión de entrada que corresponde a la salida del módulo de control, sus pines son: 12V, calefacción, rotación, ventilación y tierra.
- R1, R2 y R3: resistencia de base de los transistores Q1, Q2 y Q3. Su valor es de $1\text{k}\Omega$.
- Q1, Q2 y Q3: transistores bipolares NPN, su serie es la 2N2222A. Su función principal es amplificar la señal lógica proveniente del módulo de control, soporta un voltaje entre emisor y colector igual a 40V y una corriente igual a 0.6A por lo que se puede utilizar perfectamente para excitar la bobina del relé y del ventilador, de esta manera se logra controlar las cargas que requieran de corrientes superiores a las brindadas por el microcontrolador.
- D1, D2 y D3: diodos de propósito general de la serie 1N4001, estos dispositivos evitan las corrientes inversas que pueden ser generadas por las bobinas del relé, protegiendo los componentes periféricos.
- RL1 y RL2: relevadores de carga de la serie SRD-12VCD, las bobinas de estos componentes funcionan a 12voltios y requieren de una corriente mínima de 37.5mA para ser excitadas, en este aspecto los transistores 2N2222A se ajustan perfectamente para suplir a estos dispositivos. Los contactos tienen la capacidad de soportar 10 amperios a 125VAC, lo que se traduce en 1250W de potencia. Su consumo promedio ronda los 0.45W y su vida útil ronda las 10^7 operaciones.

- **TB2:** disposición de tres conector de salida, el primero (de arriba hacia abajo) es para el elemento calefactor, el segundo es para el motor síncrono de rotación y el tercero es para el ventilador.

5.2.3. Sensor BME280

El sensor BME280 es el camino más fácil para medir la presión barométrica, la humedad y las lecturas de temperatura todo ello sin ocupar demasiado espacio. Ha sido diseñado para ser utilizado en muchas aplicaciones como ser en la navegación interior/exterior, la predicción del tiempo, la automatización del hogar, y la salud, en la figura 35 se puede observar su aspecto físico. Se alimenta con 3.3V, hay que tener mucho cuidado a la hora de conectarlo a los dispositivos controladores. Mide la presión atmosférica de 30 kPa a 110 kPa, así como la humedad relativa y la temperatura. El modulo proporciona una interfaz de 3.3V SPI¹⁹, una interfaz de I2C tolerante a 5V (con resistencias pull-up a 3,3 V), toma mediciones con menos de 1 mA lo que hace que su consumo sea realmente bajo (Bosch, 2015).



*Figura 35. Modulo Sensor BME280 con interfaz I2C.
Imagen extraída de pypi.python.org*

¹⁹ Serial Peripheral Interface es un estándar de comunicaciones usado principalmente para la transferencia de información entre circuitos integrados en equipos electrónicos.

Es importante tomar en cuenta las características técnicas (ver tabla No.20), partiendo de estos datos se eligió el sensor por las siguientes razones:

- Posee un tamaño muy reducido.
- El módulo es de bajo consumo y permite gestionar funciones de ahorro energético.
- Capacidad para medir la humedad y temperatura en un mismo módulo.
- La temperatura de trabajo y el rango de medición se ajustan perfectamente a los requerimientos de incubación.
- El rango de medición de la humedad relativa y su precisión se ajustan a los requerimientos de la incubación.
- Protocolo de comunicación I2C lo que facilita la transmisión de los datos, facilita el diseño y permite conectar muchos dispositivos en el mismo bus.

Eventualmente existen dos puntos en contra que afectará de una u otra manera el desarrollo del prototipo, pero que, a la larga no son imprescindibles:

- La precisión en la lectura de la temperatura es un punto en contra, tiene un margen alto lo que podría afectar en la incubabilidad, pero se ve compensado por el bajo costo por el que se puede adquirir.
- El sensor solo permite gestionar dos direcciones I2C por lo que únicamente se puede conectar dos módulos a la placa controladora, lo que nos obliga a buscar otras opciones cuando se requieran más de 2 sensores.

Tabla 20
Especificaciones sensor BME280

Característica	Valor		
	Mínimo	Medio	Máximo
Voltaje de operación (V)	1.71	1.8	3.6
Temperatura de trabajo (°C)	-40	25	85
Rango de temperatura (°C)	0	-	65
Rango de humedad (%RH)	0	-	100
Rango de presión (hPa)	300	-	1100
Interfaz de comunicación		I2C y SPI	
Precisión medida humedad		±3 %RH	
Precisión medida temperatura		± 0.5 °C	

Nota: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del fabricante

5.2.4. Módulo LCD 2004A 20x4 I2C

El LCD 2004A es una pantalla que consta de 4 filas y 20 columnas, cada espacio representa un carácter por lo que se pueden desplegar mensajes de hasta 80 caracteres (ver figura 36). Posee una interfaz de comunicación I2C gestionado por el controlador LCM1602 que permite gestionar hasta 8 direcciones mediante los pines a0, a1 y a2 (ver figura 37).



Figura 36. Aspecto físico del módulo 2004A.
Elaboración propia



Figura 37. Tarjeta LCM1602.

En ella se puede observar los tres pines A0, A1 y A2 para cambiar la dirección de la comunicación.

La razón principal de elegir este módulo fue por su protocolo de comunicación I2C que nos permitiría ahorrar espacio en el diseño. La tabla No.21 muestra las características del módulo en general.

Tabla 21
Datos técnicos Modulo LCD

Característica	Descripción
Resolución	20 caracteres x 4lineas
Comunicación	I2C
Temperatura de operación	-20 ~ +70 °C
Voltaje de alimentación	4.8 ~ 7 V
Voltaje lógico	4 ~ 5 V
Corriente	75mA

Nota: Elaboración propia con base en la ficha técnica proporcionada por el fabricante.

5.2.5. Calefacción, rotación y ventilación

Para poder cambiar las condiciones internas de incubación se precisa de tres elementos básicos, a continuación, se describe:

- Calefacción: este elemento se encarga de elevar la temperatura interior de la incubadora, se compone de un bombillo incandescente de 45W, puede ser reemplazado por bombillos de potencia superior, pero sin exceder los 240W que es capaz de entregar el módulo de salida. Otra particularidad es que puede

ser sustituido por bombillos infrarrojos sin afectar el correcto funcionamiento de la incubadora, en la figura 38.a se muestra el bombillo común utilizado. Se decidió utilizar este método de calefacción debido a su costo realmente bajo en comparación a otras alternativas, además permite ser fácilmente reemplazado por el usuario lo que reduce los costos de reparación. Una gran desventaja que posee este sistema es que reseca el ambiente, por lo que se obtendrán fluctuaciones en la humedad relativa del sensor, no es crítico, ya que las fluctuaciones son mínimas (menores al 4%) pero para un volumen mayor de incubación podría representar un problema. El método de control solo es de encendido/apagado, debido a que la tarjeta de salida usa un relé para activar la carga, imposibilitando usar un control proporcional.

- Rotación: la rotación es una parte vital dentro de la incubación, para realizar este proceso se incorporó un motor síncrono de la serie 49TYJ (ver figura 38.b), debido a su uso extendido en muchos aparatos se puede encontrar a precios realmente asequibles en el mercado local. Una de las desventajas que presenta usar este motor como sistema de rotación es que no permite controlar con precisión los grados que gira, por lo siempre se obtienen pequeños desfases que a la larga logran afectar al ángulo de giro programado (40°), para solventar este pequeño problema se programó un botón de calibración manual (ver sección 5.3). La tabla No.22 muestra las especificaciones técnicas de este motor. El método de control solo es de encendido/apagado, debido a la tarjeta de salida que usa un relé para activar la carga imposibilitando usar por ejemplo un control proporcional.
- Ventilación: Para tener una temperatura homogénea en la incubadora se necesita un sistema que mantenga circulando el aire interior, para ello se ha instalado un ventilador de la serie SPDM8025S, similar al que se muestra en la figura 38.c, el cual trabaja a 12V (ver tabla No.23) y tiene un consumo de

corriente bajo. Su bajo costo y su abundante uso en el mercado local lo hicieron óptimo para la aplicación en el prototipo. La ventaja de su bajo consumo en corriente permitió que el método de control fuera proporcional, utilizando para ello un transistor 2N2222A que suple la corriente necesaria en función de la temperatura leída por el sensor.

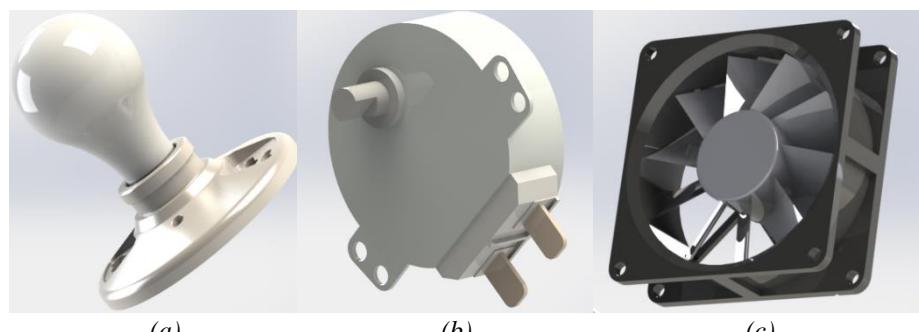


Figura 38. Elementos actuadores, de calefacción (a), rotación (b) y ventilación (c). Elaboración propia.

Tabla 22
Especificaciones técnicas del motor síncrono

Característica	Valor
Serie	49TYJ
Voltaje	100-120v
Frecuencia	50/60 Hz
Velocidad	4.8-7.2 rpm
Torque	4-2.5 kgf.cm
Potencia	4W

Nota: Elaboración propia con base en los datos obtenidos por el fabricante.

Tabla 23
Especificaciones técnicas del ventilador

Característica	Valor
Serie	SPDM8025S
Voltaje	12VCD
Corriente	0.11A
Potencia	1.32W

Nota: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos por el fabricante

5.2.6. Lista de componentes general

A continuación, se muestra la lista de todos los componentes utilizados:

Tabla 24
Resumen de componentes electrónicos

Descripción	Valor/serie	Cantidad
Resistencia 1/4 w	1kΩ	8
Resistencia 1/4 w	2 kΩ	1
Capacitor 16v	10μf	1
Diodo de propósito general	1n4001	4
Regulador de voltaje lineal	7805	1
Oscilador de cuarzo	16MHz	1
Zumbador	-	1
Microcontrolador	ATMEGA328P	1
Relé 12v	SRD-12VCD	2
Transistor	2N2222A	3
Pulsador	-	4
Sensor temp. y hum.	BME280	1
Pantalla	LCD 20x4 2004A I2C	1
Fuente de voltaje 12V	QUANS 12V 60W	1
Motor síncrono	49TYJ	1
Foco incandescente	45W	1
Ventilador 12V	SPDM8025S	1

Nota: Elaboración propia

5.3. Programación

En esta sección no se pretende explicar el código línea por línea, sino más bien dar los pasos generales que se siguieron para obtener la programación final. Se dividirá la sección en tres subtemas importantes: el método de programación, los menús en los que puede navegar el usuario y la extracción en tiempo real de los datos más importantes. En la figura 39 se muestra el diagrama de flujo que muestra por bloques la programación interna del controlador. Una copia completa del código se encuentra en los apéndices.

5.3.1. Método de programación

Utilizar el controlador ATmega328p tiene una amplia ventaja, su curva de aprendizaje es relativamente corta y existe una vasta comunidad de programadores, lo que facilita la búsqueda de librerías necesarias para controlar los diferentes dispositivos periféricos. Por otra parte, permite trabajar con la plataforma Arduino, pudiendo utilizar su IDE²⁰ con total compatibilidad previo a haber cargado el bootloader en el microcontrolador.

Existen infinidades de documentos donde se explica lo que es un bootloader y como cargarlo en el controlador, así que se limitará a definir brevemente el método. El bootloader es un pequeño programa que ha sido guardado previamente en el microcontrolador y nos permite cargar código sin la necesidad de hardware adicional, de esta manera se puede utilizar cualquier interfaz UART con la IDE de Arduino para programar el controlador. El bootloader de Arduino se guarda en la memoria flash del ATmega328p y ocupa aproximadamente 0.5KB de los 32KB disponibles, solo necesita ser cargado una vez. La figura 40 muestra la conexión eléctrica para programar el bootloader utilizando la tarjeta de Arduino, nótese que el controlador de Arduino fue removido para poder programar el controlador exterior.

²⁰ Entorno de Desarrollo Interactivo, en inglés Integrated Development Environment (IDE), es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador el desarrollo de software.

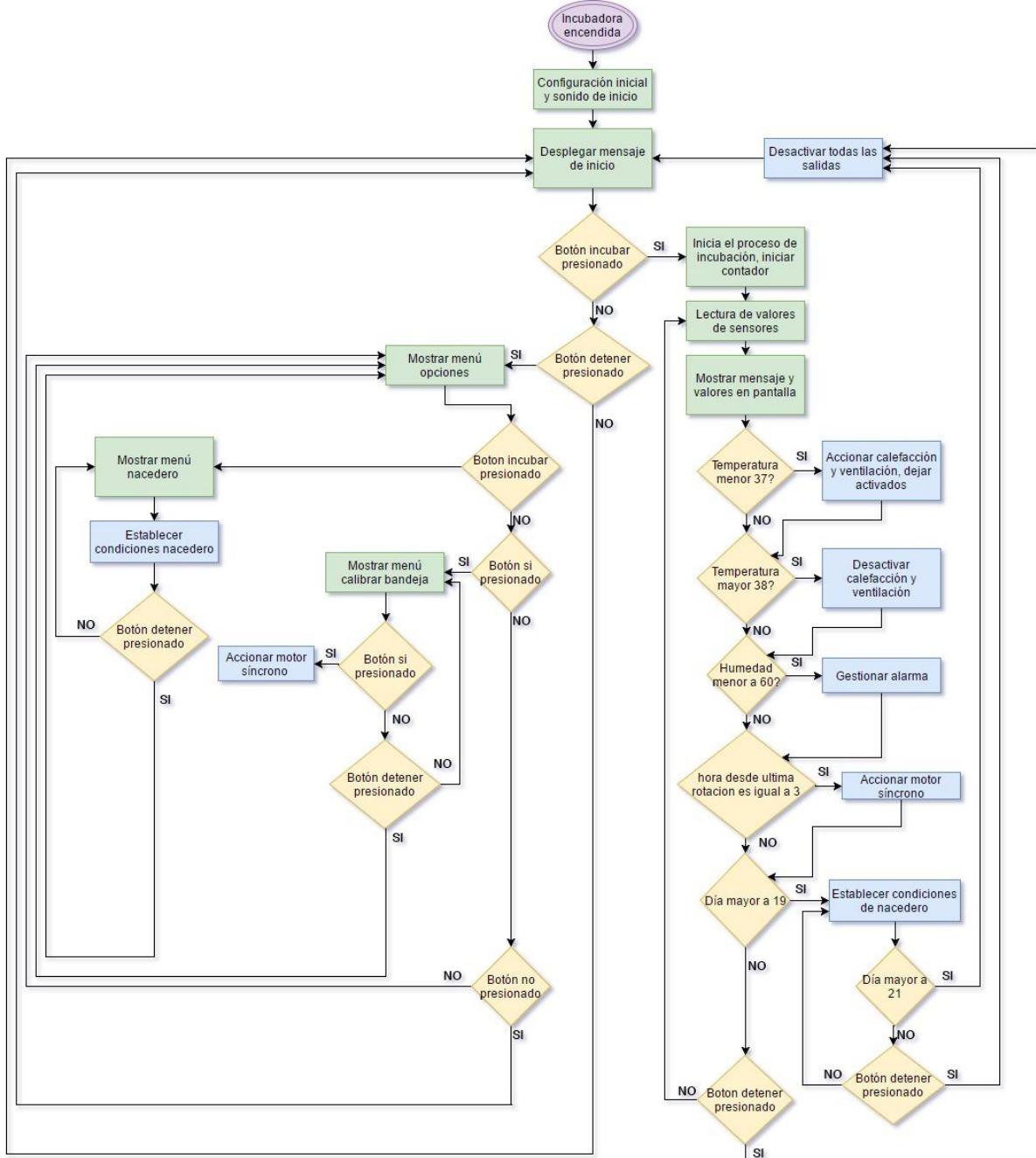


Figura 39. Diagrama de flujo en el que se basa el código programado.

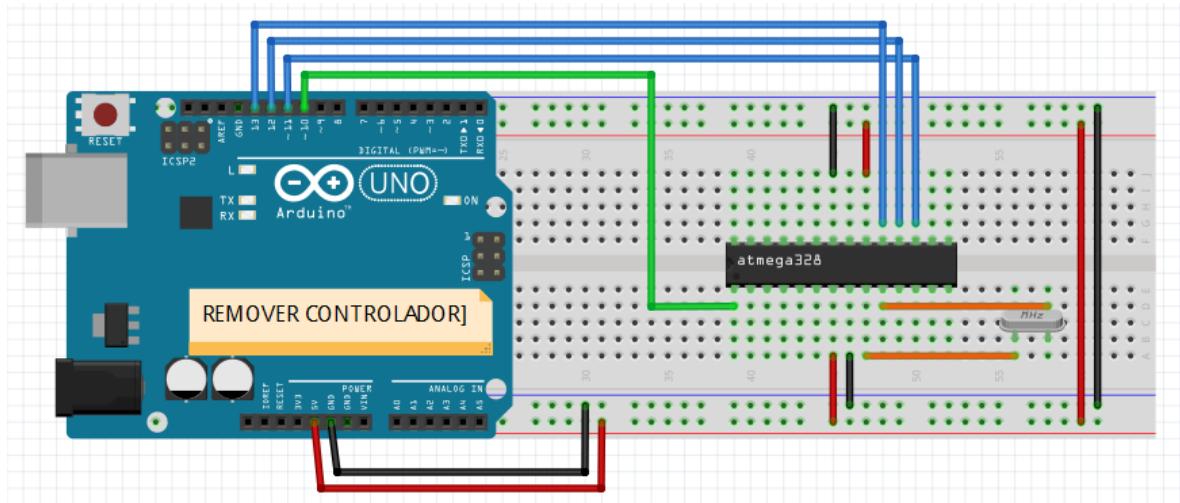


Figura 40. Programación de bootloader en controlador ATmega328p.
Elaboración propia

Una vez cargado el bootloader, se puede utilizar la IDE como si de un Arduino se tratase, guardando toda la compatibilidad y facilitando la programación. La figura 41 muestra la conexión física completa que se debe realizar para poder programar el módulo de control, como se puede observar no requiere de muchos componentes extra.

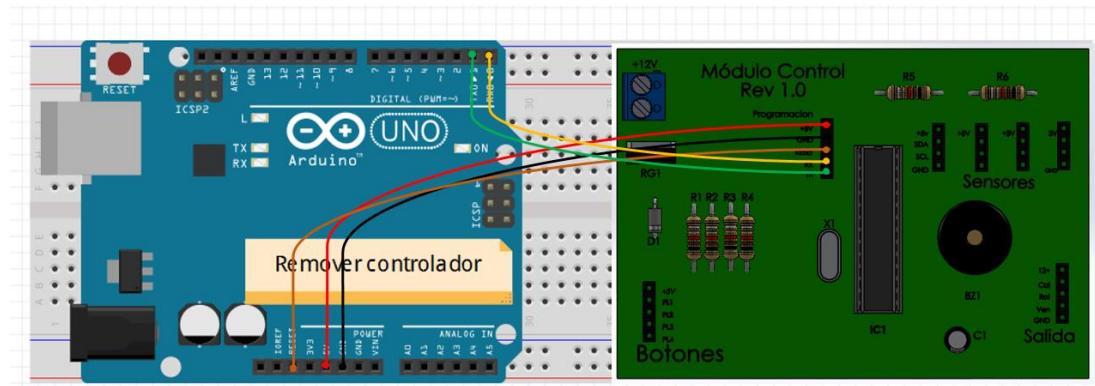


Figura 41. Programación del código usando la tarjeta de arduino como programador.
Elaboración propia.

5.3.2. Menú y navegación

A continuación, se procede a mostrar la interfaz visual del usuario y su navegación, explicando las distintas funcionalidades y lo que se muestra en cada pantalla. La figura 42 muestra la primera pantalla cuando el prototipo es conectado a la red eléctrica, queda a las espera de la decisión que tome el usuario, para este caso solo pueden ser dos, una es iniciar el proceso de incubación presionando incubar y la otra es mostrar el menú de opciones presionando detener.



*Figura 42. Menú principal de la pantalla del prototipo.
Elaboración propia.*

1. Presionando DETENER: se desplegará en pantalla el menú de opciones (ver figura 43) en el cual usted podrá configurar la incubadora como nacedero o podrá calibrar la bandeja para huevos. Para configurar la incubadora como nacedero presione INCUBAR, para calibrar la bandeja presione SI y para salir al menú principal (figura 42) presione NO.



*Figura 43. Menú de opciones en la pantalla del prototipo.
Elaboración propia*

1.1.Presionando INCUBAR: iniciará el proceso de nacedero, la figura 44 muestra la pantalla que corresponde a esta opción, la primera línea indica el estado del proceso, la segunda línea indica la temperatura interna de la incubadora y la tercera línea indica la humedad relativa. Si desea salir y volver al menú de opciones presione DETENER.

1.2.Presionando SI: se desplegará el menú de calibración de bandeja (ver figura 45), mantenga presionado el botón SI y la bandeja comenzará a moverse, para detener el movimiento basta con soltar el botón. Si desea salir y volver al menú de opciones presione DETENER



*Figura 44. Menú Nacedero en la pantalla del prototipo.
Elaboración propia.*



*Figura 45. Menú Calibrar bandeja en la pantalla del prototipo.
Elaboración propia*

2. Presionando incubar: al presionar el botón de INCUBAR se inicia el proceso de incubación, se despliega la pantalla que aparece en la figura 46, la primera línea nos indica que el estado es de incubado, la segunda línea nos muestra la temperatura en °C en tiempo real, la tercera línea nos describe la humedad relativa en % y la cuarta línea muestra el tiempo transcurrido desde que se inició la incubación. Si desea calibrar la bandeja para huevos debido al desfase que sufre el ángulo de inclinación a través de los días presione el botón SI, si desea salir de la incubación presione el botón DETENER y volverá al menú principal (figura 42).

2.1.Presionando SI: usted entrará al menú de calibrar bandeja (ver figura 45), mantenga presionado el botón si y la bandeja comenzará a moverse, para detener el movimiento basta con soltar el botón. Si desea salir y volver a la incubación presione el botón DETENER.



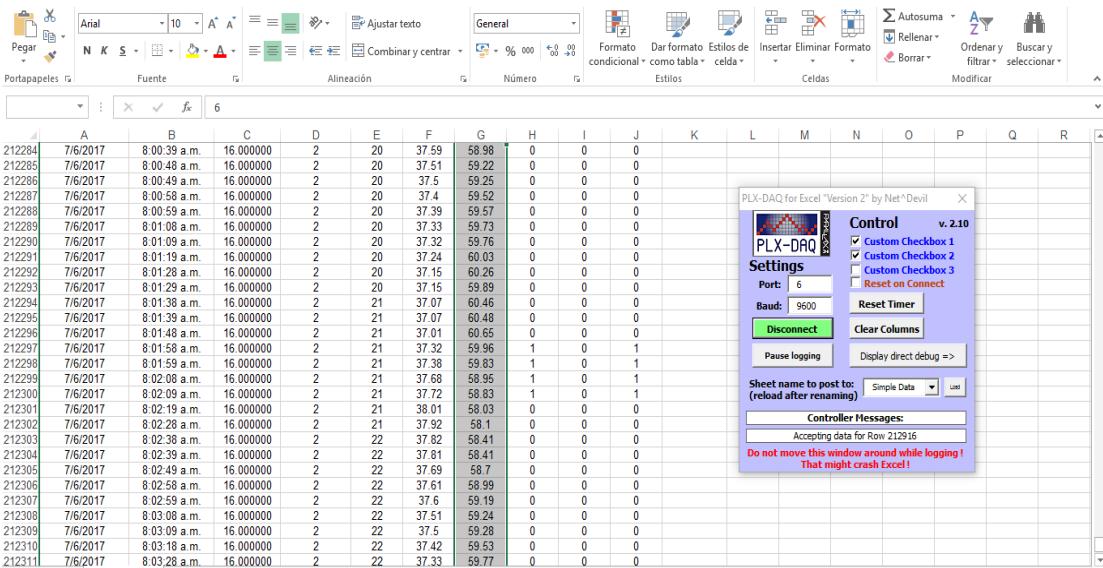
Figura 46. Menú de incubación en la pantalla del prototipo.
Elaboración propia

5.3.3. Extracción de datos en tiempo real

Una de las funcionalidades principales del prototipo es la capacidad de importar datos a una computadora mediante el puerto de programación, esto abre un abanico de posibilidades para futuras mejoras, permitiendo incluso gestionar la incubadora desde escritorios remotos. Importar los datos a una computadora facilita el análisis estadístico

del proceso de incubación, poder observar las variaciones de humedad y temperatura supone una gran ventaja para determinar que pasó en caso de baja incubabilidad, o posteriormente hacer análisis de eficiencia energética en función de los parámetros de salida obtenidos, y no solo eso, también nos permite llevar una base de datos de todos los procesos de incubación realizados.

Para poder almacenar los datos enviados por el módulo de control se ha utilizado un software gratuito llamado PLX-DAQ (Parallax, 2014) que no es más que un simple script que se ejecuta en Excel para almacenar los datos que reciben del puerto COM (ver figura 47). Se programó la tarjeta de control para que envié datos cada 10 segundos, se probaron distintos niveles de muestreo (2, 5, 10, 20 y 30 segundos) y no se observó una diferencia en cuanto a los promedios estadísticos obtenidos, los valores siempre tendían a los mismos porcentajes. Conectar el prototipo a una computadora no influye en nada, el módulo de control al no detectar una interfaz UART conectada al puerto de programación simplemente omite el envío de datos, continuando con el proceso de incubación normal.



The screenshot shows a Microsoft Excel spreadsheet titled "PLX-DAQ for Excel Version 2 by Net^Devil". The main window displays a table of data with columns A through R. The data consists of 12 rows of measurements, each containing a timestamp, two numerical values, and six zeros. The PLX-DAQ control window is overlaid on the bottom right of the Excel interface. It includes settings for Port (6), Baud (9600), and checkboxes for Custom Checkbox 1, 2, and 3. It also features buttons for Disconnect, Reset Timer, Clear Columns, and Pause logging. A message box at the bottom right of the control window reads: "Do not move this window around while logging! That might crash Excel!"

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
212284	7/6/2017	8:00:39 a.m.	16.000000	2	20	37.59	58.98	0	0	0								
212285	7/6/2017	8:00:48 a.m.	16.000000	2	20	37.51	59.22	0	0	0								
212286	7/6/2017	8:00:49 a.m.	16.000000	2	20	37.5	59.25	0	0	0								
212287	7/6/2017	8:00:58 a.m.	16.000000	2	20	37.4	59.52	0	0	0								
212288	7/6/2017	8:00:59 a.m.	16.000000	2	20	37.39	59.57	0	0	0								
212289	7/6/2017	8:01:08 a.m.	16.000000	2	20	37.33	59.73	0	0	0								
212290	7/6/2017	8:01:09 a.m.	16.000000	2	20	37.32	59.76	0	0	0								
212291	7/6/2017	8:01:19 a.m.	16.000000	2	20	37.24	60.03	0	0	0								
212292	7/6/2017	8:01:28 a.m.	16.000000	2	20	37.15	60.26	0	0	0								
212293	7/6/2017	8:01:29 a.m.	16.000000	2	20	37.15	59.89	0	0	0								
212294	7/6/2017	8:01:38 a.m.	16.000000	2	21	37.07	60.46	0	0	0								
212295	7/6/2017	8:01:39 a.m.	16.000000	2	21	37.07	60.48	0	0	0								
212296	7/6/2017	8:01:48 a.m.	16.000000	2	21	37.01	60.65	0	0	0								
212297	7/6/2017	8:01:58 a.m.	16.000000	2	21	37.32	59.96	1	0	1								
212298	7/6/2017	8:01:59 a.m.	16.000000	2	21	37.38	59.83	1	0	1								
212299	7/6/2017	8:02:08 a.m.	16.000000	2	21	37.68	59.95	1	0	1								
212300	7/6/2017	8:02:09 a.m.	16.000000	2	21	37.72	58.83	1	0	1								
212301	7/6/2017	8:02:19 a.m.	16.000000	2	21	38.01	58.03	0	0	0								
212302	7/6/2017	8:02:28 a.m.	16.000000	2	21	37.92	58.1	0	0	0								
212303	7/6/2017	8:02:38 a.m.	16.000000	2	22	37.82	58.41	0	0	0								
212304	7/6/2017	8:02:39 a.m.	16.000000	2	22	37.81	58.41	0	0	0								
212305	7/6/2017	8:02:49 a.m.	16.000000	2	22	37.69	58.7	0	0	0								
212306	7/6/2017	8:02:58 a.m.	16.000000	2	22	37.61	58.99	0	0	0								
212307	7/6/2017	8:02:59 a.m.	16.000000	2	22	37.6	59.19	0	0	0								
212308	7/6/2017	8:03:08 a.m.	16.000000	2	22	37.51	59.24	0	0	0								
212309	7/6/2017	8:03:09 a.m.	16.000000	2	22	37.5	59.28	0	0	0								
212310	7/6/2017	8:03:18 a.m.	16.000000	2	22	37.42	59.53	0	0	0								
212311	7/6/2017	8:03:28 a.m.	16.000000	2	22	37.33	59.77	0	0	0								

Figura 47. PLX-DAQ recibiendo los datos del módulo de control.

5.4. Consumo energético teórico

Tabla 25
Potencia máxima y energía consumida teórica

Descripción	Cantidad	Potencia	Tiempo promedio	Potencia
		consumida en	encendido en	teórica
		Watt	horas	W/h
ATmega328	1	0.25	504 ^b	126.0
Relé SRD-12VCD	2	0.45	121 ^a	108.9
Pantalla LCD2004A	1	0.38	504 ^b	191.5
Fuente QUANS 12V	1	1.2	504 ^b	604.8
Motor síncrono	1	4	0.2 ^c	0.8
Foco incandescente	1	45	121 ^a	5,445
Ventilador SPDM8025S	1	1.32	121 ^a	159.7
Potencia máxima	-	52.6	-	-
Energía consumida	-	-	-	6636.7

Nota: Elaboración propia con base en las fichas técnicas de los fabricantes y los datos obtenidos por el módulo de control. ^a121 horas corresponden al porcentaje de tiempo encendido (24%) obtenido por los datos del módulo de control (ver tabla No.31). ^bCorresponde al tiempo total de horas de incubación 21x24. ^cCorresponde al número de volteos (152) por 4 segundos de duración durante el proceso de incubación.

5.5. Escalabilidad tecnológica

La escalabilidad se define como aquella propiedad que permite a un sistema cambiar su tamaño o configuración para adaptarse a nuevas circunstancias sin perder sus características principales, en ese sentido el prototipo fue diseñado de tal manera que fuera escalable mediante actualizaciones en un futuro. A continuación, se resume en una lista las principales modificaciones que se podría realizar en el prototipo:

- Incorporar la programación para incluir distintos huevos de aves o incluso reptiles, la electrónica es la misma, solo se tendrían que cambiar las condiciones de incubación y ajustar el nuevo tamaño de las bandejas superior e inferior para huevos.
- Incorporar sistema de humidificación que permita controlar la humedad relativa, se necesitaría modificar el código de programación y el módulo de salida, agregando una salida más que sería la del elemento humidificador.
- Incorporar un control PID²¹, se tendría que modificar la programación del microcontrolador y rediseñar el módulo de salida, utilizando tiristores para poder variar la potencia de los elementos actuadores.
- Crear un script o programa que permita gestionar la incubadora desde el ordenador, esto nos permitiría poder controlar el proceso de incubación desde lugares remotos (siempre y cuando esté conectado a la computadora), el prototipo no requeriría de ninguna modificación ya que el puerto de programación es apto para ejecutar esta tarea.
- Agregar un sensor de orientación a la bandeja para huevos, de esta manera se puede controlar los ángulos de inclinación y así evitar la calibración manual. Se tendría que modificar únicamente el código, agregando la nueva funcionalidad.
- Incorporar un sistema de respaldo energético de tal manera que permita al microcontrolador guardar el estado de incubación antes que se vaya la energía por completo, de esta manera se puede definir un patrón de muerte embrionaria dependiendo de los días sin energía que pase la incubación.

²¹ Controlador Proporcional-integral-derivativo, es un mecanismo de control por realimentación ampliamente usado en sistemas de control industrial. Este calcula la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado.

6. Análisis económico

Este no pretende ser un análisis exhaustivo, debido a la infinidad de variables que se tendrían que tomar para poder dar una conclusión real sobre los costos del prototipo y su recuperación, más bien pretende ser un análisis superficial, pero que se sirva para obtener una idea general en cuanto al tiempo posible de recuperación de la inversión.

6.1. Costo total de fabricación del prototipo

La tabla No.26 muestra el costo de fabricación del prototipo, se han omitido algunos costos, esto debido a que es difícil estimar un valor (va a depender de muchos factores) por lo que se ha optado por solo considerar el precio del material adquirido.

Tabla 26
Costo total de fabricación del prototipo

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio Lempiras
Piezas de PVC	1	314.68	314.68
Tornillos 6-32x1/2	7	14.43	101.01
Arandela lisa	1	13.78	13.78
Tuerca hex. zinc	4	0.70	2.8
Cable eléctrico 1 metros	2	7.96	15.92
Masilla látex	1	42.17	42.17
Porta lámpara	1	14.43	14.43
Bisagra	2	4.35	8.7
Angulo de aluminio	3	230.43	691.29
Broca para metal	2	12.70	25.4
Cinta aislante	1	26.96	26.96
Bandeja huevos acrílico	1	86.95	86.95
Puerta UTH acrílico	1	130.43	130.43
Pantalla LCD 2004A	1	306.08	306.08
Pines de conexión H/M	1	112	112
Sensor BME280	1	97.39	97.39
Relé SRD-12VCD	2	43.47	86.95
Fuente QUANS 12V 60W	1	565.21	565.21
Motor síncrono	1	78.26	78.26
ATmega328 con cristal	1	217.39	217.39
Resistencias 1/4W	9	4.34	39.13
Capacitor 10uf	1	8.69	8.69
Diodos 1N4001	4	13.04	52.17
Regulador 7805	1	21.73	21.73
Ventilador SPDM8025S	1	43.47	43.47
Pulsadores	4	8.69	34.78
Buzzer	1	26.08	26.08
Pago por corte de piezas	1	347.82	347.82
Pago por transporte	1	260.86	260.86
Sub-Total	-	-	3,782.53
ISV 15%	-	-	567.37
Total	-	-	4,349.90
Total USD	-	-	185.52

Nota: Elaboración propia.

6.2. Recuperación de la inversión

El cálculo del periodo de recuperación de la inversión es una etapa importante dentro de cualquier proyecto ya que permite evaluar el riesgo y saber si la inversión será factible. Para el análisis de la recuperación de la inversión se han definido cuatro variables importantes, polluelos eclosionados, gasto energético de la incubadora (tabla No.25), costo del huevo fértil (precio basado en los huevos comprados para la incubación de prueba) y el costo de fabricación del prototipo. Se plantearon cuatro casos hipotéticos:

- Eficiencia del prototipo del 70% a un precio de venta por polluelo de 13.5 lempiras.
- Eficiencia del prototipo del 70% a un precio de venta por polluelo de 15 lempiras.
- Eficiencia del prototipo del 100% a un precio de venta por polluelo de 13.5 lempiras.
- Eficiencia del prototipo del 100% a un precio de venta por polluelo de 15 lempiras.

Esto dará una idea del tiempo estimado en el cual se recuperará totalmente la inversión del prototipo, el valor obtenido puede ser muy distinto del real ya que se han omitido variables que pueden afectar en menor o mayor medida el resultado final.

La tabla No.27 y No.30 muestran los tiempos máximos y mínimos de recuperación de la inversión, note que para cualquier caso el tiempo es inferior a 1 año el cual se considera un margen aceptable para recuperar una inversión, hay que considerar que los costos de fabricación pueden verse reducidos al producir en masa, lo que aumentaría la viabilidad del proyecto.

Tabla 27
70% eficiencia, 13.5 lempiras por polluelo

Descripción	Cantidad	Precio(Lps)	Sub-total(Lps)
Polluelos eclosionados	28	13.50	378
Gasto energético	6.6kWh	4	-26.4
Costo de huevo fértil	40	2	-80
Ganancia por incubación	-	-	271.6
Costo del prototipo	-	-	4,349.90
Numero de Incubaciones	-	-	16
Recuperación de inversión	-	-	336 días

Nota: Elaboración propia.

Tabla 28
70% eficiencia, 15 lempiras por polluelo

Descripción	Cantidad	Precio (Lempiras)	Sub-total (Lps)
Polluelos eclosionados	28	15	420
Gasto energético	6.6kWh	4	-26.4
Costo de huevo fértil	40	2	-80
Ganancia por incubación	-	-	313.6
Costo del prototipo	-	-	4,349.90
Numero de Incubaciones	-	-	14
Recuperación de inversión	-	-	294 días

Nota: Elaboración propia.

Tabla 29
100% eficiencia, 13.5 lempiras por polluelo

Descripción	Cantidad	Precio(Lps)	Sub-total(Lps)
Polluelos eclosionados	40	13.50	540
Gasto energético	6.6kWh	4	-26.4
Costo de huevo fértil	40	2	-80
Ganancia por incubación	-	-	433.6
Costo del prototipo	-	-	4,349.90
Numero de Incubaciones	-	-	10
Recuperación de inversión	-	-	210 días

Nota: Elaboración propia.

Tabla 30
100% eficiencia, 15 lempiras por polluelo

Descripción	Cantidad	Precio(Lps)	Sub-total(Lps)
Polluelos eclosionados	40	15	600
Gasto energético	6.6kWh	4	-26.4
Costo de huevo fértil	40	2	-80
Ganancia por incubación	-	-	493.6
Costo del prototipo	-	-	4,349.90
Numero de Incubaciones	-	-	9
Recuperación de inversión	-	-	189 días

Nota: Elaboración propia.

7. Análisis de resultados de la incubación de prueba

Con el prototipo finalizado se procedió a realizar una incubación de prueba, muchos parámetros influyeron en esta etapa, los constantes cortes de energía y la calidad del huevo hicieron difícil la estimación de la eficiencia real de la incubadora, sin embargo hubo patrones que permitieron tener una idea de cuáles son las fallas que el proceso presentó, Es importante mencionar que se tienen los datos dados por el módulo de control durante todo el proceso hasta el día 21 de incubación, la misma se prolongó hasta los 24 días.

7.1. Iniciando el proceso de incubación

El mercado de huevos fértiles en Honduras no es tan extendido como el de los polluelos, se tuvo dificultades para conseguir los huevos de prueba, por lo que se recurrió a huevos de granjas familiares (comúnmente llamados huevos de gallina india). Algunas desventajas que estos huevos presentan son:

- Condiciones higiénicas de los lugares de puesta desconocido.
- Tiempo de almacenaje y procedimiento de almacenamiento desconocido.
- Tamaño no homogéneo.
- Huevos manchados y sucios.

Una cantidad de veinte huevos se consiguieron para incubar, doce de ellos no presentaban las condiciones óptimas para el proceso (ver figura 48), sin embargo empleando la teoría de la sección 3.5 se procedió a adecuar estos huevos para la incubación. La figura 49 muestra el resultado de la limpieza realizada, se agregó una marca a cada huevo (con lápiz carbón, el cual no representa ningún riesgo) para dar seguimiento en el proceso de nacimiento.



Figura 48. Huevos sucios.
Elaboración propia



Figura 49. Huevos con marca después del proceso de limpieza.
Elaboración propia.

Antes de iniciar el proceso de incubación se tomaron una serie de recomendaciones que las industrias avícolas califican de buena praxis. A continuación, las acciones que se llevaron a cabo:

- Limpieza y desinfección con paño húmedo clorado.
- Llenado de bandeja con agua purificada.
- Precalentamiento de la incubadora durante treinta minutos.

La ubicación de los huevos limpios dentro de la incubadora se hizo de manera aleatoria, la figura 50.a muestra el inicio de la incubación, en la parte inferior se puede ver la

bandeja con agua, también se puede el ángulo de inclinación de la bandeja para huevos, la figura 50.b muestra la disposición final de los huevos dentro del prototipo.



Figura 50. Inicio del proceso de incubación.
Elaboración propia

7.2. Análisis de ovoscopía

En la sección 3.9 se explicó con detalle en que consiste la ovoscopía y cuál es su importancia dentro de la incubación, aplicando la teoría estudiada sobre el proceso de miraje se procedió a realizar el análisis, utilizando para ello una linterna común. Después de examinar con cuidado cada huevo, en el noveno día de incubación, se obtuvo los resultados observados en la figura 51, la cual, no es más que un mapeo de la posición de los huevos creada con el objetivo de tener una visión más clara.

Continuando con la figura 51, en ella se pueden observar tres posibles estados (de los cuales se cumplen solo 2), el verde para indicar un desarrollo normal del huevo, el naranja para un desarrollo atrasado y el rojo para muerte o desarrollo nulo del embrión. Estos tres estados se han basado en el desarrollo ideal que se muestra en la figura 11, correlacionando estos con los mostrados en la figura 52, se puede determinar que: la figura 52.a corresponde a un nivel de desarrollo atrasado, la figura 52.b corresponde a un nivel de desarrollo normal, y la figura 52.c corresponde a un huevo con nulo desarrollo. Es necesario aclarar que la figura 52.c se ha tomado solo de ejemplo y no está dentro de los huevos de prueba.

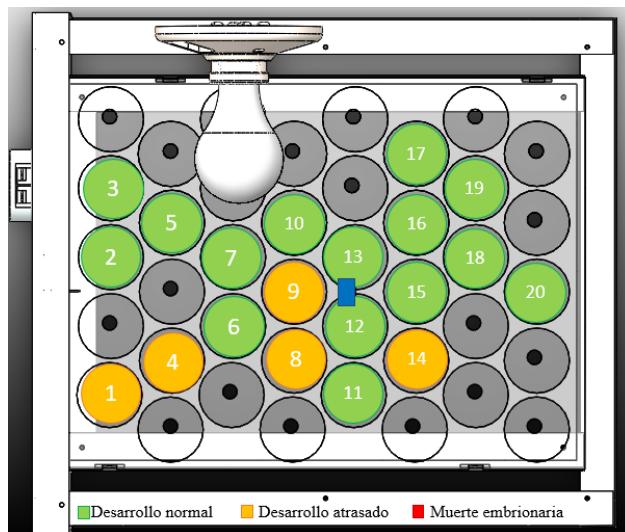


Figura 51. Resultados de la ovoscopía en el noveno día de incubación.
Elaboración propia

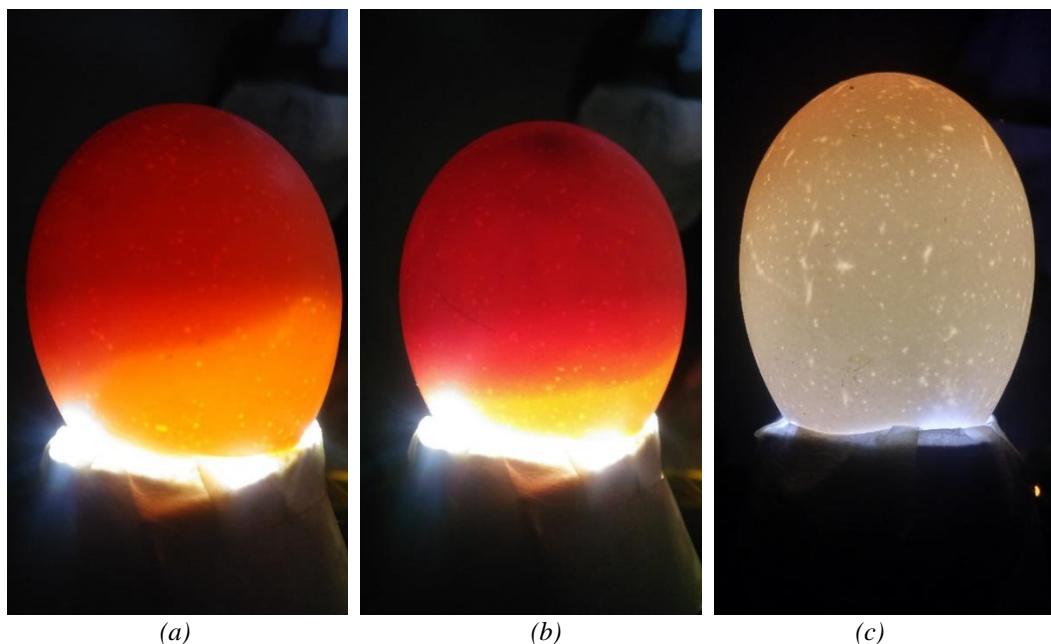


Figura 52. Ovoscopía en el día nueve de incubación.
(a) Desarrollo aproximado al día 8 (b) Desarrollo aproximado al día 10 (c) Desarrollo nulo.
Elaboración propia.

Analizando la figura 52.a y 52.b se pueden observar dos grandes diferencias, la primera es el área de sombreado, la cual es en realidad un entramado de vasos sanguíneos, y la segunda, es el punto negro en la parte superior del huevo, este no es más que el embrión

desarrollándose. Aun con esas diferencias es difícil determinar la muerte del embrión debido a que el desarrollo observado no se aleja mucho del esperado para el noveno, lo que sí se puede afirmar es que todos los huevos poseen un embrión dentro.

Es importante notar un patrón, la mayoría de huevos con desarrollo atrasado están cerca del sistema de ventilación, la explicación podría ser que se esté creando una corriente de aire lo que afecta la temperatura y por ende la evolución normal del huevo.

7.3. Análisis de datos proporcionados por PLX-DAQ

Obtener datos de la incubadora es realmente útil, sobre todo, cuando de hacer una síntesis sobre el proceso de incubación se trata. En esta sección se examinará los resultados obtenidos por el módulo de control mediante el programa PLX-DAQ. Después de 21 días de incubación se obtuvieron una cantidad total de 300,000 muestras, las mismas fueron sintetizadas en la tabla 31, extrayendo solo los datos que se consideraron importantes para el análisis. El tiempo total de incubación duro 24 días, los tres restantes no se registraron dentro de los datos.

Tabla 31
Datos de la incubación de prueba

Descripción	Valor
Humedad promedio	62.27 %RH
Temperatura promedio	37.44 °C
Promedio ciclos encendido/apagado	15,000 ciclos
Tiempo promedio encendido	24%
Temperatura mínima registrada	29.30 °C
Temperatura máxima registrada	38.12 °C
Humedad mínima registrada	40 %RH
Humedad máxima registrada	74 %RH
Tiempo total sin energía	16 horas con 35 minutos

Nota: Elaboración propia

7.3.1. Resultados sobre la humedad

La humedad promedio registrada fue de 62.27%, valor que se ajusta al porcentaje total esperado, demostrando que el modelo calculado en la sección 5.1.4 tiene una grado de correlatividad alto para el prototipo y las condiciones de prueba (tabla No.16). La cantidad de agua evaporada durante el proceso fue de aproximadamente 1,800 cm³ (medición directa de la superficie por altura de agua que se evaporó).

Observando los datos de humedad se pudieron definir una serie de patrones que afectan el comportamiento de la misma. A continuación, se detallan los siguientes:

- Días muy secos bajan la humedad hasta un 55%.
- Días lluviosos aumentan la humedad hasta un 74%.
- La apertura de la puerta frontal reduce la humedad hasta un 40%, la misma se estabiliza (60%RH) 10 minutos después de cerrar la puerta.
- La variación de humedad en intervalos de tiempo corto es de un 3% debido al sistema de calefacción, el cual reseca el aire.

7.3.2. Resultados sobre la temperatura

La temperatura promedio registrada fue de 37.44°C, valor un poco por debajo del programado, esto se debe a los tiempos prolongados que el prototipo estuvo sin energía eléctrica y en donde la temperatura descendió hasta los 29.30°C afectando el promedio global de la medida. Las corrientes de aire dentro de la habitación afectan notablemente la temperatura interna de la incubadora, causando un aumento en los ciclos de encendido/apagado del sistema de ventilación y calefacción debido al calor que es disipado por el aire externo en contacto con las paredes del prototipo. En general, para las condiciones exteriores normales (sin corrientes de aire y temperatura de la habitación próxima a los 26°C) se puede llegar a tener un rendimiento del 24% de

tiempo encendido, esto significa, que de las 504 horas que dura la incubación, la calefacción estará encendida solo 121 horas.

7.3.3. Cortes de energía

Se registraron un total de 9 cortes de energía eléctrica, la tabla No.32 muestra la fecha y el día de incubación cuando sucedieron estos imprevistos.

Tabla 32
Registro de cortes de energía eléctrica

Fecha	Día de incubación	Duración
31/05/2017	9	15 minutos
31/05/2017	9	6 horas
03/06/2017	12	10 min
03/06/2017	12	2 horas, 25 minutos
09/06/2017	18	5 minutos
09/06/2017	18	6 horas, 40 minutos
11/06/2017	20	10 minutos
11/06/2017	20	10 minutos
12/06/2017	21	40 minutos

Nota: Los valores en minutos están redondeados al múltiplo de 5 más próximo. Elaboración propia

7.4. Análisis de nacimientos y muertes

Después de 24 días de incubación se logró eclosionar un huevo, muchos factores influyeron en el bajo resultado de la incubación y debido a esto es difícil determinar si la culpa del éxito o fracaso fue del prototipo, o de los inconvenientes que se presentaron en el proceso.

En esta sección se analizará paso a paso mediante la examinación del desarrollo embrionario que presentaron cada uno de los huevos, se tendrá siempre en cuenta la figura 11 y la tabla No.7 para determinar el estado de crecimiento, de esta manera se recopila información para poder solucionar los problemas en futuras pruebas.

La figura 53 es un mapeo de todas las muertes embrionarias divididas por el nivel de desarrollo de cada embrión. En secciones anteriores se explicó el proceso de limpieza y marcaje que pasaron algunos huevos, no se observaron patrones en cuanto a los embriones más desarrollados y los huevos marcados. Dividiéndose así, en proporciones similares. Es interesante observar como la mayoría de muertes (por etapa) tiene un grado de correlación con los períodos más largos de cortes de energía (ver tabla No.32).

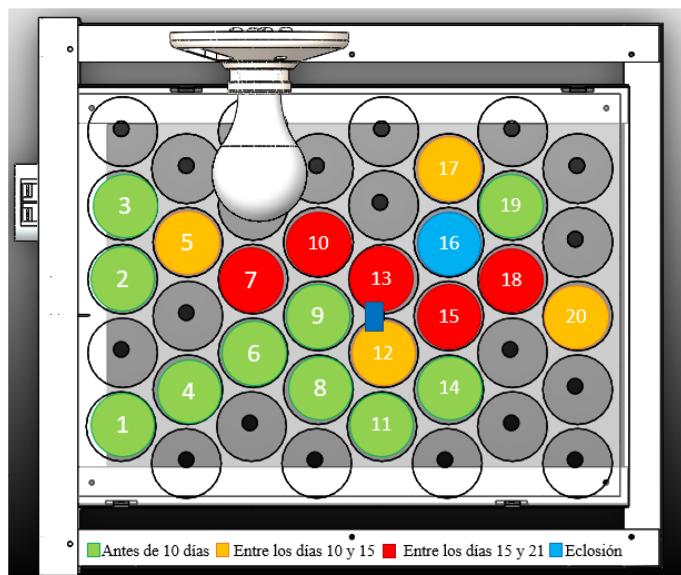


Figura 53. Mapeo de muertes embrionarias y eclosión.
Elaboración propia.

7.4.1. Muerte embrionaria antes de los 5 días

Para esta etapa los huevos número 1,4 y 14 (ver figura 53) muestran el desarrollo de la figura 54, con base en la teoría de la sección 3, se podría afirmar, que el crecimiento se encuentra entre los días tres y cinco, la figura 54.b, confirma lo anterior, observando en ella la mancha ocular del embrión y el cuerpo empezándose a formar. Es importante notar que estos huevos se encontraban alejados del sensor y de la fuente de calor, por lo que, es probable que su muerte prematura se deba a una temperatura fuera del rango óptimo o a una corriente de aire.

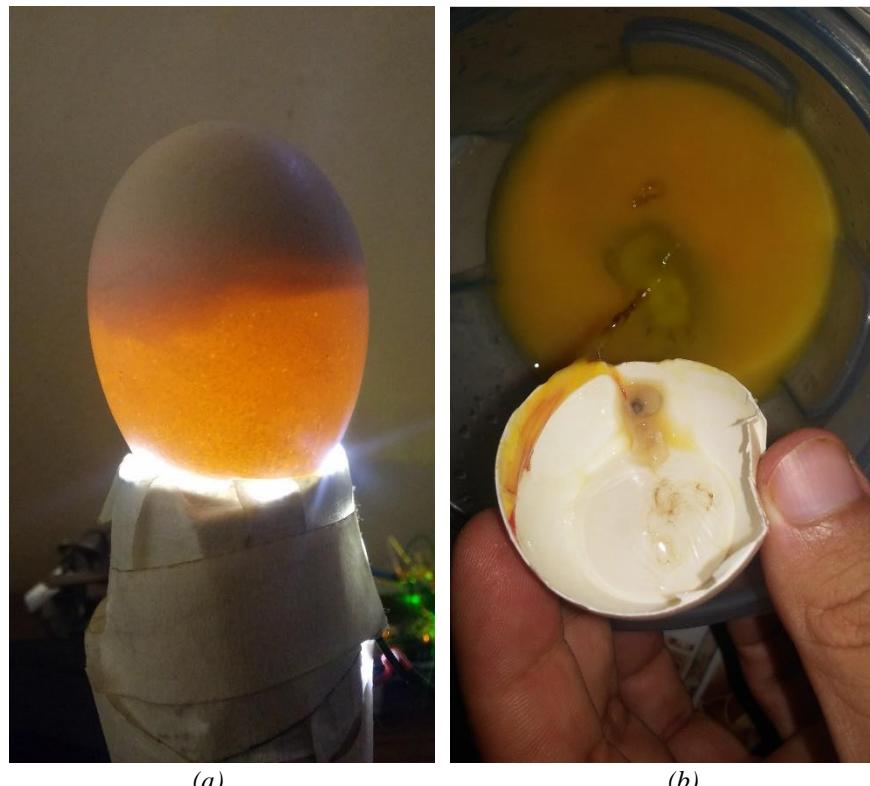
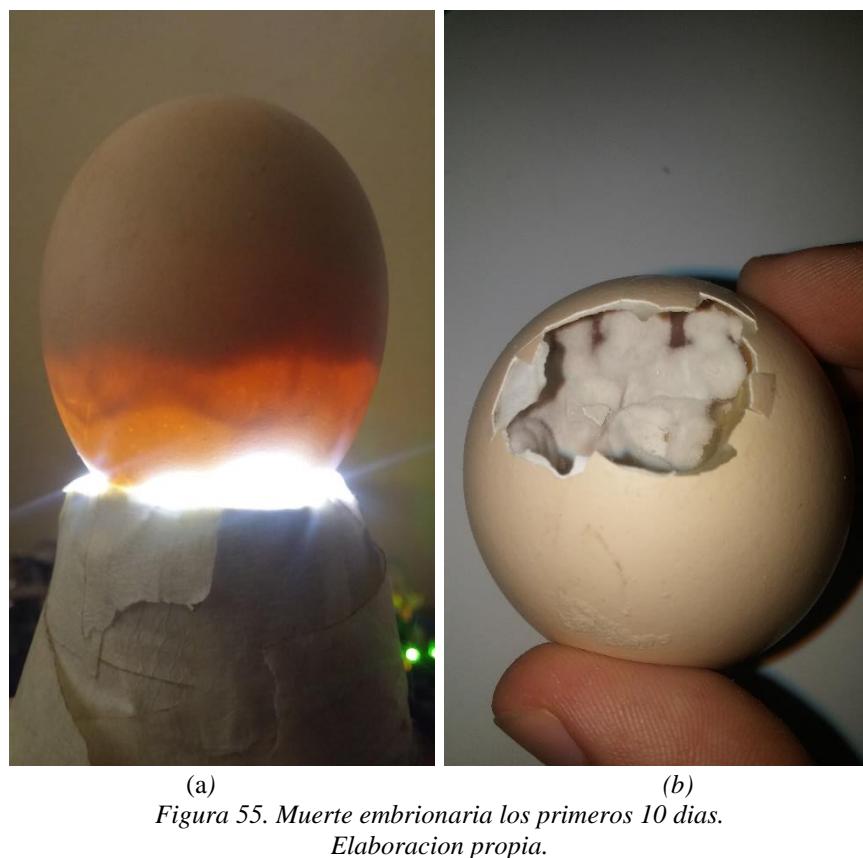


Figura 54. Desarrollo del embrión los primeros 5 días.
Elaboración propia

7.4.2. Muerte embrionaria entre los 5 y 10 días

Los huevos número 2, 3, 6, 8, 9, 11 y 19 tuvieron un desarrollo equivalente al décimo día de incubación (figura 55.a). Al romper los huevos, se pudo observar como el 8 y 9 estaban infectados (55.b), se podría descartar factores de temperatura como los causantes del problema debido a la proximidad al sensor y a la fuente de calor. Por otra, la infección indica la entrada de un agente patógeno al huevo, lo que pudo causar su muerte.



(a)
(b)
Figura 55. Muerte embrionaria los primeros 10 días.
Elaboracion propia.

La figura 56 muestra el estado en el que se encontraban los embriones, note se como ya se ha formado el cuerpo, pudiendose distinguir las patas y las alas, el esbozo de los parpados comienza a ser visible.



Figura 56. Desarrollo embrionario los primeros 10 días
Elaboración propia.

7.4.3. Muerte embrionaria entre los 10 y 15 días

Los huevos 5, 12, 17 y 20 alcanzaron esta etapa del desarrollo, la figura 57, muestra el embrión bien definido, como se puede observar sus extremidades se encuentran más desarrolladas y el plumón ya es visible en todo el cuerpo. Los párpados comienzan a cerrarse.



Figura 57. Desarrollo embrionario entre los 10 y 15 días.
Elaboración propia.

7.4.4. Muerte embrionaria entre los días 15 y 21

Los huevos 7, 10, 13, 15 y 18 presentaron el desarrollo de la figura 58, en él se observa un embrión perfectamente desarrollado, extremidades bien definidas, plumón denso por todo el cuerpo y parpados cerrados. Se puede aducir, con base en la tabla No.7, que los embriones se encontraban en el día 18 de desarrollo.



*Figura 58. Desarrollo embrionario entre los días 15 y 21.
Elaboración propia.*

7.4.5. Eclosión

Únicamente se registró una eclosión en todo el proceso, el polluelo incubable, corresponde al huevo número 16. La eclosión tuvo lugar en el día 24 (contabilizando las horas sin energía, que fueron repuestas después del día 21), esto indica que dos factores principales fueron los causantes: el primero, tiene que ver con una mala regulación de la temperatura; el segundo, tiene que ver con la vejez del huevo. El análisis del estado físico del polluelo revela muchos datos relevantes de lo que pudo fallar en el proceso, en la figura 59, se puede ver al polluelo apoyado en su pecho y no en sus patas, esta es una anomalía comúnmente denominada patas de caucho, los granjeros atribuyen esto, a una mala regulación de temperatura (Foro Zoe Tecno-campo, s.f.).



Figura 59. Polluelo recién nacido.
Elaboración propia.

8. Conclusiones

De la teoría general:

Describir la teoría de incubación resultó ser algo tedioso en algunos casos, si bien es cierto el proceso es generalizado, hay parámetros que dependen mucho del autor o del investigador. Muchos de estos son refutados con pruebas que no terminan de ser convincentes, debido a que a la vez tienen una refutación, pero que en general, todos concuerdan con un rango ideal.

La mayoría de información teórica que aparece en el documento es algo obsoleta, actualmente todos los entes investigadores que se dedican al área venden su información y sus procesos, imposibilitando que se pueda tener una estado del arte más completo y actualizado.

Del mercado de incubadoras:

El mercado internacional de incubadoras es vasto y complejo, existe una infinidad de fabricantes con tecnologías avanzadas y años de experiencia en el rubro. Sería difícil competir con estas empresas, la ventaja principal que se podría tener, radica en los costos de envío, que suponen un gran obstáculos para muchas de estas empresas.

El mercado de incubadoras locales es inexistente, existen algunos fabricantes, pero estos carecen de tecnología y procesos manufacturados, por lo que se les considera artesanales.

Del prototipo:

El resultado obtenido es un producto muy similar a la mayoría de incubadoras que se venden exteriormente, teniendo como fuerte el alto nivel de tecnología y la facilidad de manejo. Muchas incubadoras de gama similar, no cuentan con una interfaz adecuada que guíe y oriente al usuario sobre el proceso. Otro punto resaltante es el origen de las

piezas con las cuales se fabricó, muchas son procedentes del mercado local, esto redujo el tiempo de fabricación.

Fue todo un reto obtener un diseño escalable, con recursos limitados. A la larga facilitó muchas etapas del desarrollo. Al final la escalabilidad o esa posibilidad de actualizarse, resulta ser una ventaja que posiciona al prototipo muy por encima de las incubadoras de su misma gama.

De la prueba de incubación:

La incubación de prueba tuvo una natalidad del 5%, constantes cortes de energía, una mala calibración del sensor de temperatura y una calidad de huevo deplorable, pudieron ser los principales causantes. Con los datos obtenidos por el análisis del desarrollo embrionario se pudo comprobar que:

- Al menos tres de ellos murieron por efectos de la temperatura (huevos 1,4 y 14 de la figura 53), una mala posición del sistema de ventilación pudo generar una corriente de aire que terminó con abortar el proceso de incubación.
- Al menos dos de ellos murieron a causa de un agente patógeno externo (huevos 8 y 9). La porosidad de sus cascarones pudo causar que el agente infeccioso penetrara hasta el embrión.
- En ninguno de los huevos se observó resequedad, ni embriones pegados al cascarón, por lo que se puede afirmar, que la humedad relativa mantenida en todo el proceso fue la adecuada.
- Debido a la tosquedad al momento de abrir los huevos, fue imposible determinar si hubo desprendimiento del embrión a causa del movimiento rudo del sistema de rotación, aunque por la cifra de embriones que alcanzaron etapas avanzadas de desarrollo se podría decir que no.

- Casi todos los huevos presentaron las mismas etapas de aborto embrionario, es decir, que los porcentajes de embriones morían al mismo tiempo y no en momentos diferentes. Esto pudo deberse a los tres cortes de energía más largos que se registraron, siendo el del día 9, el más crítico (7 embriones muertos).
- Se tienen problemas de temperatura al interior de la incubadora, esto lo confirma el análisis de la sección 7.4.5, aunque no se observaron desviaciones en las pruebas iniciales, es muy probable que el sensor sufra de auto calentamiento con el pasar del tiempo.

Se cumplió la perspectiva esperada sobre el funcionamiento de la incubadora. Durante el proceso no se observaron desgastes, ni anomalías en el funcionamiento de la misma.

Del análisis económico:

El precio final del prototipo no se aleja del precio de las incubadoras de gamas similares, tomando en cuenta que no tienen el costo de envío y que no poseen un sistema de garantía, se podría decir que el producto final es viable desde ese sentido. A demás el costo del prototipo siempre será superior a futuras producciones, esto puede significar una recuperación de la inversión mucho más rápida.

9. Recomendaciones

De la teoría general:

- Profundizar más en la teoría del desarrollo embrionario, esto dará un mejor panorama sobre el proceso de incubación.

- Estudiar sobre los efectos que causa la presión atmosférica sobre la humedad relativa y por ende la incubabilidad. Este es un factor que no se tomó en cuenta para el proceso de incubación.

Del prototipo:

- Calibrar el sensor de humedad y temperatura para futuras pruebas, aunque, la hoja de datos del fabricante no menciona nada sobre la posibilidad de descalibración del sensor, por lo que se asume que la medida del sensor es un tanto fiable.
- Reorganizar el sistema de calefacción y ventilación, asegurarnos que la distribución del aire al interior sea de lo más homogénea posible. De ser posible orientar el sistema de calefacción en el techo de la incubadora.
- Fijar a una base el sensor de temperatura y asegurarse que no esté en contacto directo con la luz proveniente del bombillo de calefacción, de esta manera se evitan errores por el movimiento de la bandeja o por el calor irradiado directamente a la superficie del módulo.
- Suavizar el movimiento del sistema de rotación, de esta manera se descartará totalmente la muerte por desprendimiento del embrión.

De la prueba de incubación:

- Para futuras pruebas, asegurarse de conseguir huevos de calidad óptima para la incubación.
- Asegurar un sistema de respaldo de energía eléctrica, de manera que el proceso de incubación nunca sea interrumpido.
- Hacer los tres procesos de ovoscopía (inicio, día 8 y día 18), y eliminar los embriones muertos el día de la segunda ovoscopía.

Referencia

- Ardón, G. A. (2016). *Empresas líderes en la industria avícola hondureña*. Obtenido de
<http://unag.edu.hn/linked/Empresas%20Lideres%20en%20la%20Industria%20Avicola%20Hondurena.pdf>
- Asociación Nacional de Avicultores de Honduras. (2015). Obtenido de
<http://www.anavih.com/>
- Berry, J. G. (2007). Artificial incubation. Obtenido de
<http://www.as.nchu.edu.tw/lab/5c/course/production/2007Lecture1.pdf>
- Bosch. (2015). *Bosch sensor tec*. Recuperado el 2017, de https://www.bosch-sensor-tec.com/bst/products/all_products/bme280
- Brower. (s.f.). *From egg to chick, A Guide for Successful Incubation and Brooding*. Obtenido de
<http://browerequip.com/documents/Instruction%20Sheets/egg%20to%20chick%20guide.pdf>
- Castelló, J., & Sole. (1986). *Manual práctico de avicultura*.
- Castelló, S. (1917). *Avicultura: curso completo de gallinocultura e industrias anexas*. Obtenido de https://ddd.uab.cat/pub/llibres/1916-1917/97434/avicultura_a1916-1917r2p216.pdf
- Clauer, P. J. (2009). *Incubating Eggs*. Obtenido de
https://www.pubs.ext.vt.edu/content/dam/pubs_ext_vt_edu/2902/2902-1090/2902-1090_pdf.pdf
- Cobb. (2013). *Guía de manejo de la incubadora*. Obtenido de <https://cobb-guides.s3.amazonaws.com/26b944f0-bcb4-11e6-bd5d-55bb08833e29.pdf>
- Comisión para la defensa y promoción de la competencia [CDPC]. (2011). *Estudio sectorial de la industria avícola hondureña*. Tegucigalpa. Obtenido de
http://fedavih.com/index.php?option=com_content&view=article&id=148&Itemid=331
- Díaz, N., Orrego, G., Reyes, M., & Silva, M. (2016). *Aumento de la Temperatura de Incubación en Huevos de Gallina Araucana (Gallus inauris): Efecto sobre la Mortalidad*.

- EmTech. (2017). *EmTech Hatchery systems ltd.* Obtenido de <http://www.emtech-systems.com/productos/primotech/?lang=es>
- FIEM. (2017). *Incuber.* Obtenido de <http://incuber.es/producto/incubadora-fiem-mg-50-junior-especial/?portfolioID=267>
- Foro Zoe Tecno-campo.* (s.f.). Recuperado el 2017, de
<http://www.zoetecnocampo.com/foroa/Forum5/HTML/000187.html>
- Gonzales, J. (1586). *Historia de las cosas más notables, ritos y costumbres del gran reino de china.* Barcelona.
- North, & Bell. (1993). *Manual de produccion avícola.*
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la ganadería. (2014). *FAOSTAT.* Obtenido de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QL>
- Parallax. (2014). *Parallax Inc.* Obtenido de <https://www.parallax.com/downloads/plx-daq>
- Petersime. (2017). *Petersime, Incubators & hatcheries.* Obtenido de
http://www.petersime.com/downloads/18/biostreamer_models_es.pdf
- Ricaurte, S. (2005). *Embriodiagnosis y ovoscopia. Análisis y control de calidad de los huevos incubables.* Obtenido de
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030305/030504.pdf>
- Selecciones avícolas. (1991). Incubabilidad. *Selecciones avícolas,* 33.
- Soares, R. (2008). Diagnóstico embrionario, una importante herramienta de ayuda en la planta de incubación. *Selecciones avícolas.*
- Yunfeng. (2017). *Yunfeng Incubation.* Obtenido de <http://www.cnincubator.com/XF-75600-Tunnel-Style-Incubator-273.html>

Apéndice A. Dimensiones de la estructura física del prototipo

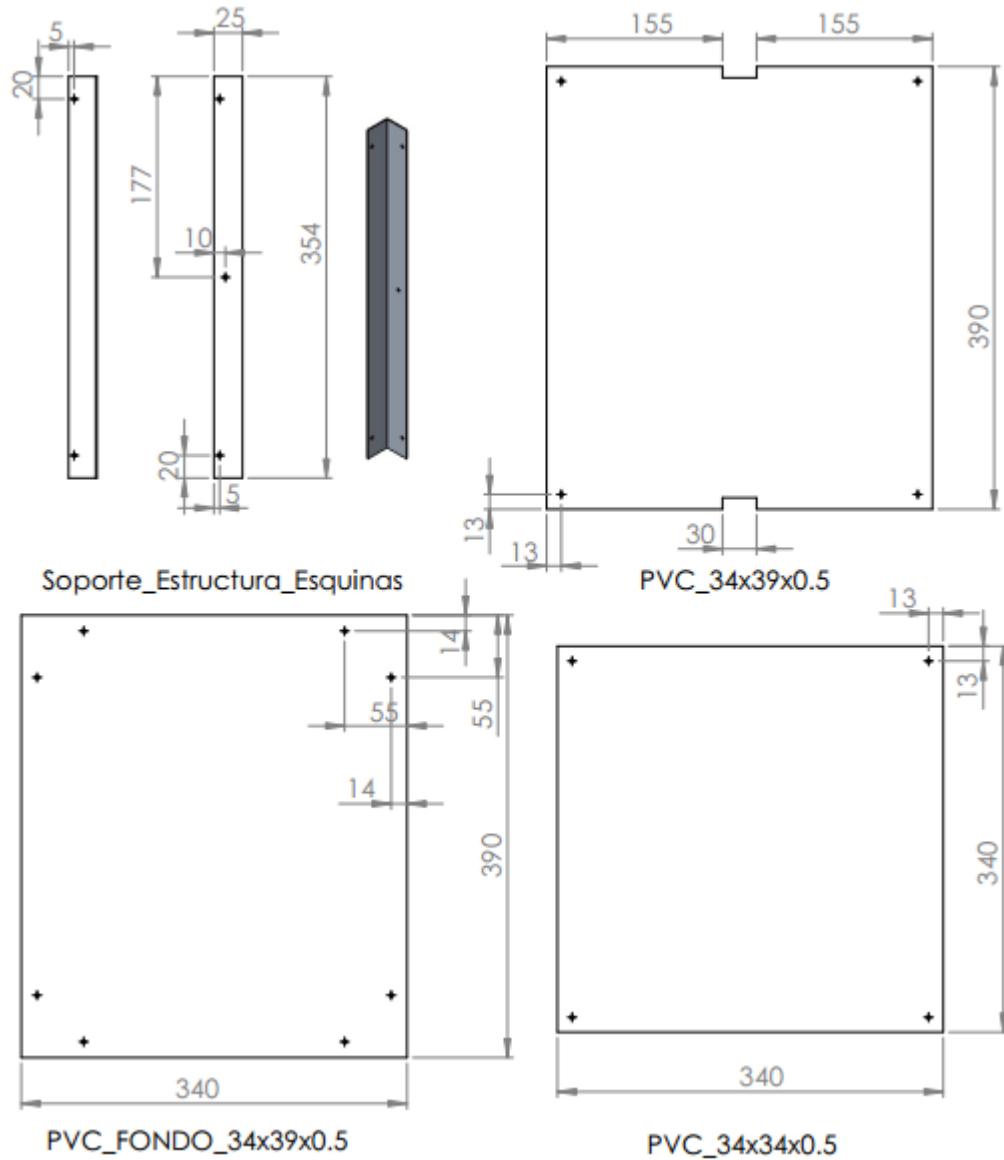


Figura A1.Dimensiones de piezas en PVC y estructuras de aluminio.
Elaboración propia

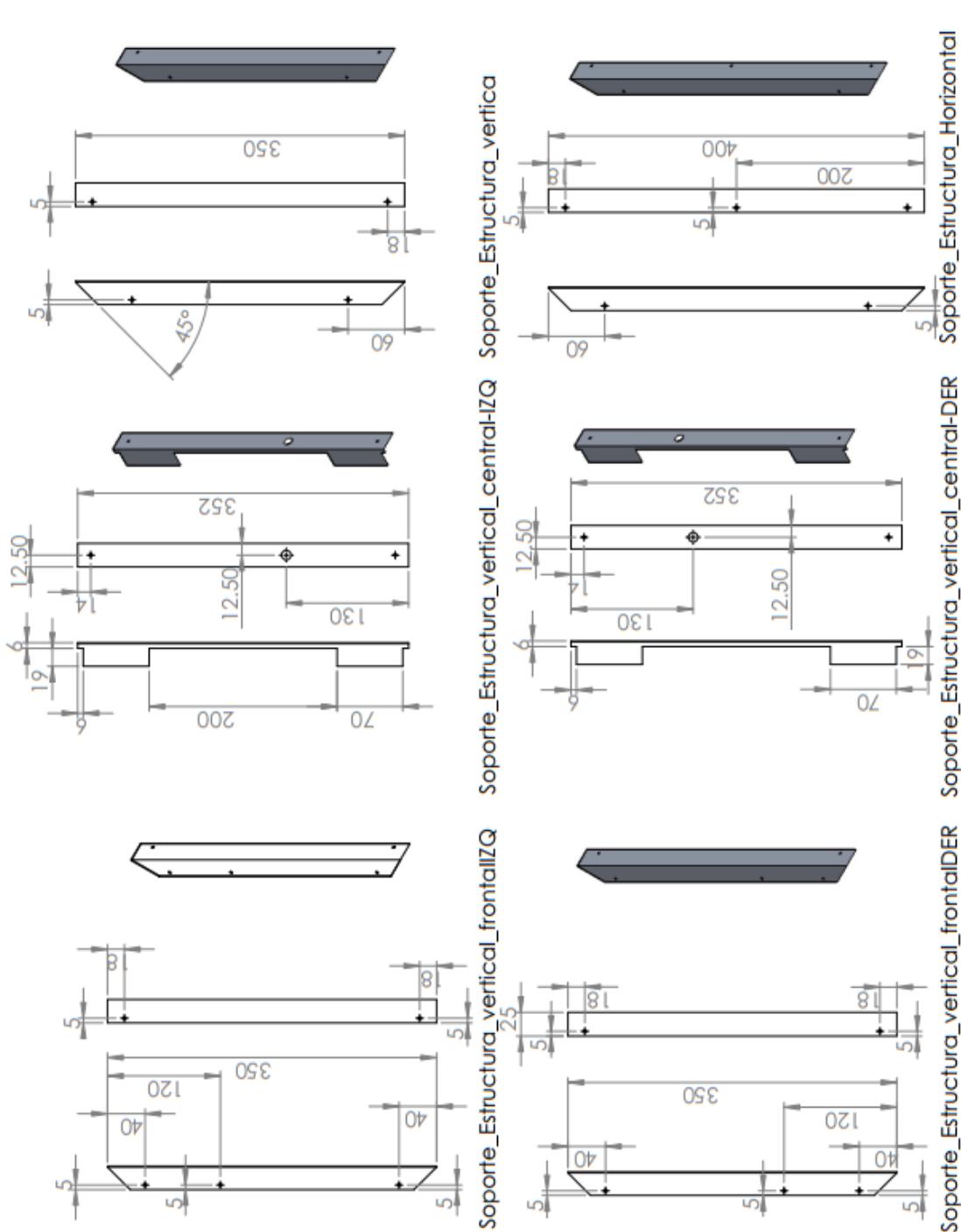


Figura A2. Dimensiones de piezas en aluminio.
Elaboración propia

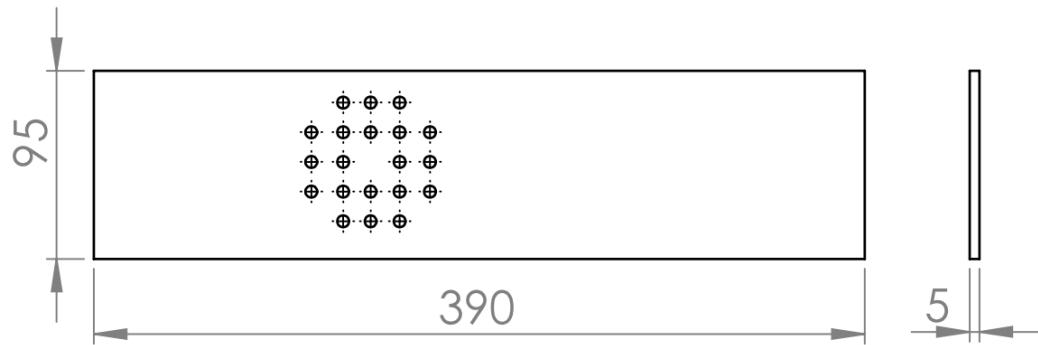


Figura A3. Soporte interno de circuitería y ventilador



Figura A4. Dimensiones de la puerta frontal

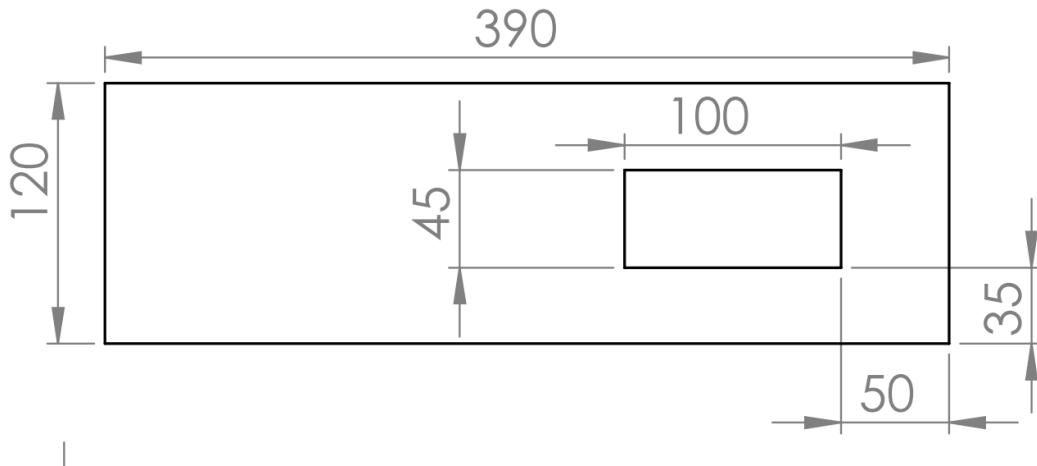


Figura A5. Dimensiones estructura PVC de soporte para pantalla LCD.

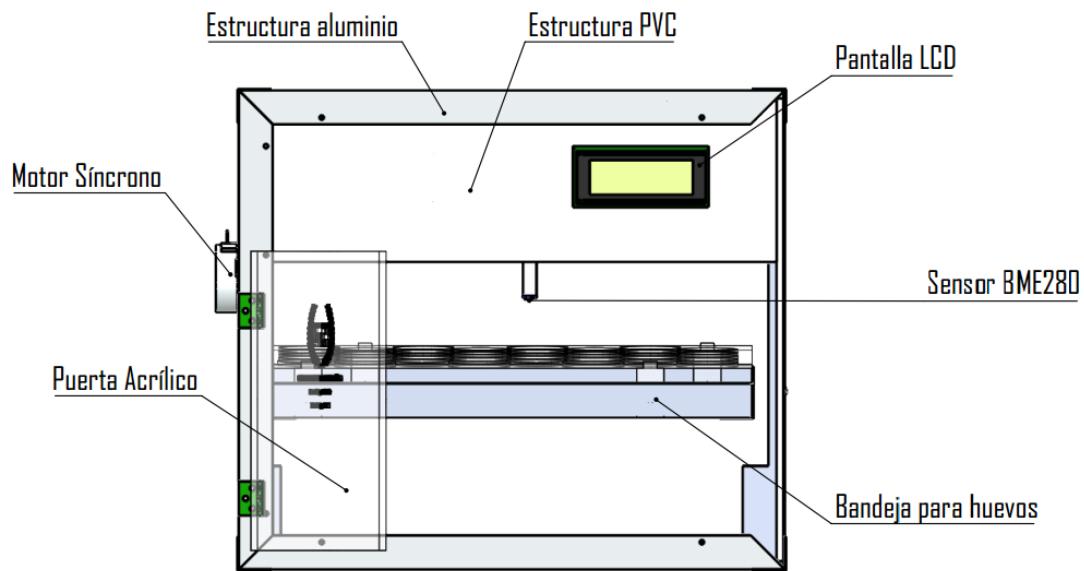


Figura A6. Distribución de elementos que componen el prototipo.

Apéndice B. Módulos de control electrónico

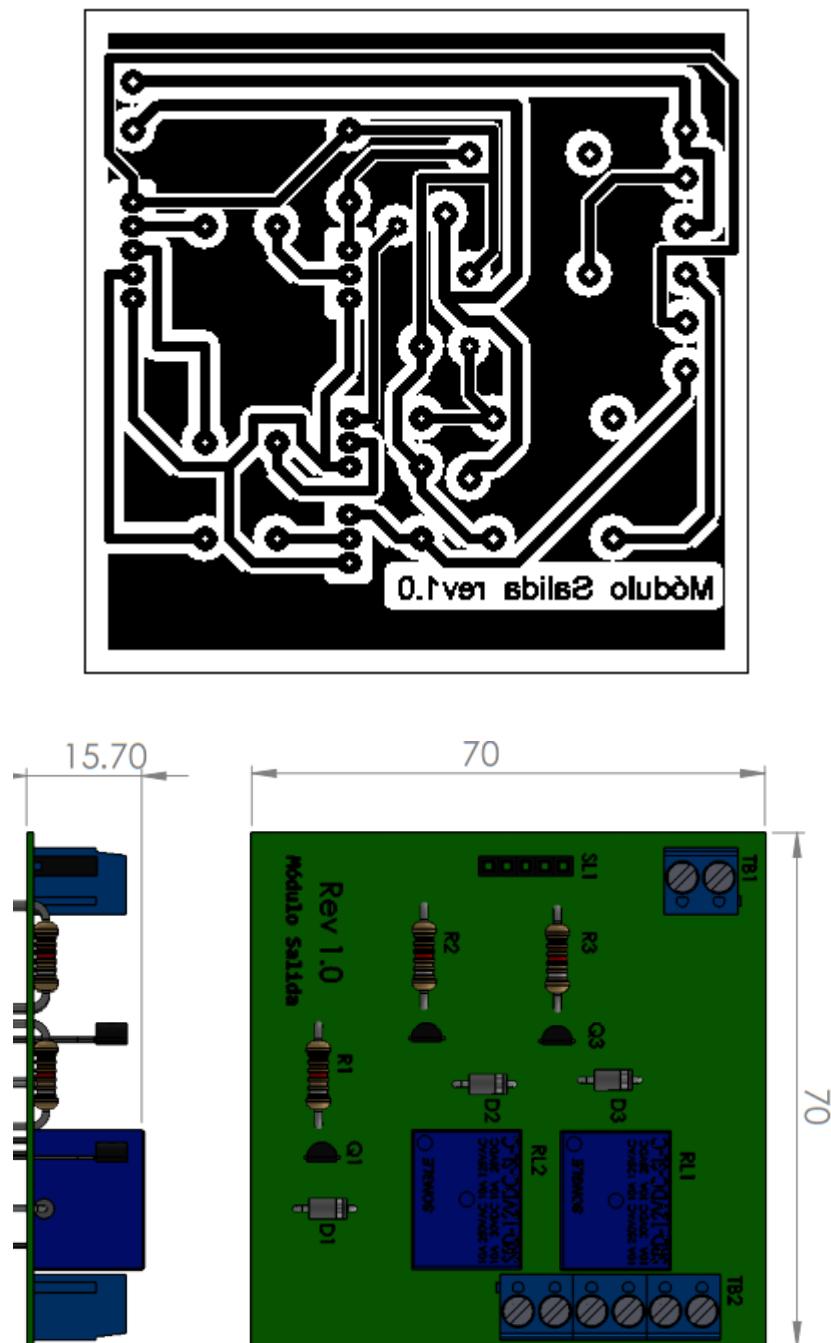


Figura A7. Módulo de salida con su circuito impreso.

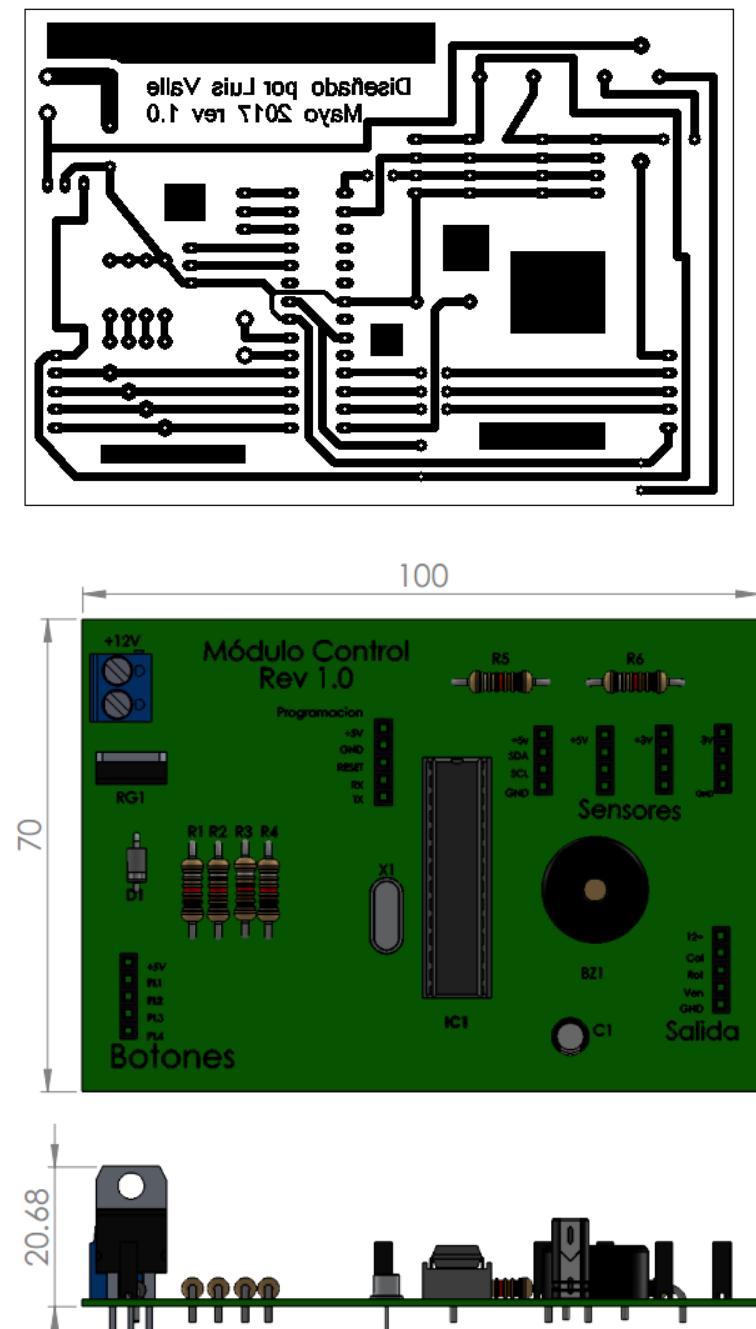


Figura A8. Módulo de control con su circuito impreso

Apéndice C. Código del prototipo

```
/* -----CODIGO INCUBADORA LV-40-----*
 * Código de control del prototipo funcional de incubadora LV-40 presentado
 * por Luis Valle como proyecto de graduación, consultas o sugerencias en el
 * diseño podrán ser recibidas mediante correo lyanes21@yahoo.es
 * Versión 1.0 Actualizada el 8/05/2017 por Luis Valle
 */
#include <TimeLib.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Time.h>
#include "cactus_io_BME280_I2C.h"
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);
time_t Tiempo=0;
BME280_I2C bme(0x76);

//-----VARIABLES DE ENTRADA-----
int BotonIncubar=5;
int BotonSi=6;
int BotonNo=7;
int BotonDetener=8;

//-----VARIABLES DE SALIDA-----
int Buzzer=9;
int PinVentilacion=10;
int PinCalefaccion=12;
int PinRotacion=11;

//-----VARIABLES DE ESTADOS Y CONTADORES-----
int Dia=0;
int TiempoRotacion=0;
int Condicion=0;
int CondicionCalibrarBandeja=0;
int ContadorRotacion=3;
int Contador2=0;
int EstadoCalefaccion=0;
int EstadoVentilacion=0;
int EstadoRotacion=0;
float Temperatura=0;
float Humedad=0;

//-----CONFIGURACION INICIAL-----
void setup()
{
    pinMode(Buzzer, OUTPUT);
    pinMode(PinRotacion, OUTPUT);
    pinMode(BotonIncubar, INPUT);
```

```
pinMode(BotonSi, INPUT);
pinMode(BotonNo, INPUT);
pinMode(BotonDetener, INPUT);
Buzzer_inicio();
lcd.init();
lcd.backlight();
bme.begin();
}
//-----PROGRAMA PRINCIPAL-----
void loop()
{
PantallaIntroduccion();
Dia=0;
delay(1000);
if(digitalRead(BotonIncubar)==1)
{
RotacionIF();
Buzzer_sonido1();
InicioDataExcel();
setTime(00,00,00,1,1,2017);
while(Dia< 21)
{
bme.readSensor();
Temperatura=bme.getTemperature_C();
Humedad=bme.getHumidity();
Tiempo=now();
Dia=day(Tiempo);
PantallaIncubacion();
Estado_Ventilacion();
Estado_Rotacion();
Estado_Calefaccion();
DataExcel();
if(digitalRead(BotonSi)==1)
{
OpcionesCalibracionBandeja();
}
CondicionDetenerIncubacion();
delay(1000);
}
}
if(digitalRead(BotonDetener)==1)
{
MenuOpciones();
}
}
```

```
//-----PANTALLAS Y SUB-MENUS-----//  
void PantallaIntroduccion()  
{  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(2,0);  
    lcd.print("INCUBADORA LV-40");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("prototipo funcional");  
    lcd.setCursor(0,3);  
    lcd.print("esperando.");  
    delay(500);  
    lcd.setCursor(0,3);  
    lcd.print("esperando..");  
    delay(500);  
    lcd.setCursor(0,3);  
    lcd.print("esperando...");  
}  
void PantallaIncubacion()  
{  
    lcd.clear();  
    lcd.print("INCUBANDO");  
    lcd.setCursor(0, 1);  
    lcd.print("Temperatura=");  
    lcd.print(Temperatura);  
    lcd.setCursor(0, 2);  
    lcd.print("Humedad=");  
    lcd.print(Humedad);  
    lcd.setCursor(0, 3);  
    lcd.print("Dia=");  
    lcd.print(day(Tiempo));  
    lcd.setCursor(7, 3);  
    lcd.print(" ");  
    lcd.setCursor(8, 3);  
    lcd.print(hour(Tiempo));  
    lcd.setCursor(10, 3);  
    lcd.print(":");  
    lcd.setCursor(11, 3);  
    lcd.print(minute(Tiempo));  
    lcd.setCursor(17, 3);  
    lcd.print(ContadorRotacion);  
}  
void PantallaDetenerIncubacion()  
{  
    lcd.clear();  
    lcd.print("Esta seguro?");
```

```
lcd.setCursor(18, 1);
lcd.print("SI");
lcd.setCursor(18, 2);
lcd.print("NO");
}
void PantallaMenuOpciones()
{
lcd.clear();
lcd.setCursor(8,0);
lcd.print("DEMOSTRACION");
lcd.setCursor(4,1);
lcd.print("CALIBRAR BANDEJA");
lcd.setCursor(15,2);
lcd.print("SALIR");
}
void MenuOpciones()
{
Buzzer_sonido1();
Condicion=0;
while(Condicion<1)
{
PantallaMenuOpciones();
delay(1000);
if(digitalRead(BotonIncubar)==1)
{
    OpcionesDemostracion();
}
if(digitalRead(BotonSi)==1)
{
    OpcionesCalibracionBandeja();
}
if(digitalRead(BotonNo)==1)
{
    Buzzer_sonido2();
    Condicion=1;
}
}
//-----CONDICIONES DE CONTROL-----
void CondicionDetenerIncubacion()
{
if(digitalRead(BotonDetener)==1)
{
    Buzzer_sonido2();
    PantallaDetenerIncubacion();
```

```
Condicion=0;
while(Condicion<1)
{
if(digitalRead(BotonSi)==1)
{
Condicion=1;
Dia=21;
digitalWrite(PinCalefaccion, LOW);
digitalWrite(PinVentilacion, LOW);
digitalWrite(PinRotacion, LOW);
Serial.end();
ContadorRotacion=3;
Contador2=0;
digitalWrite(PinRotacion, HIGH);
delay(2000);
digitalWrite(PinRotacion, LOW);
delay(10);
}
if(digitalRead(BotonNo)==1)
{
Buzzer_sonido2();
Condicion=1;
}
delay(200);
}
}
void OpcionesDemostracion()
{
Buzzer_sonido0();
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print("Modo Demostracion");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("T°C H%");
lcd.setCursor(15,3);
lcd.print("SALIR");
Condicion=0;
while(Condicion<1)
{
bme.readSensor();
Temperatura=bme.getTemperature_C();
Humedad=bme.getHumidity();
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print(Temperatura);
```

```
lcd.setCursor(7,2);
lcd.print(Humedad);
delay(2000);
if(digitalRead(BotonDetener)==1)
{
    Buzzer_sonido2();
    Condicion=1;
}
}

void OpcionesCalibracionBandeja()
{
    Buzzer_sonido3();
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Modo Calibracion");
    lcd.setCursor(15,2);
    lcd.print("MOVER");
    lcd.setCursor(15,3);
    lcd.print("SALIR");
    CondicionCalibrarBandeja=0;
    while(CondicionCalibrarBandeja<1)
    {
        if(digitalRead(BotonNo)==1)
        {
            digitalWrite(PinRotacion, HIGH);
            delay(200);
        }
        digitalWrite( PinRotacion, LOW);
        if(digitalRead(BotonDetener)==1)
        {
            //Buzzer_sonido2();
            CondicionCalibrarBandeja=1;
        }
    }
}

void Estado_Rotacion()
{ TiempoRotacion=ContadorRotacion- hour(Tiempo);
if( ContadorRotacion == 24 )
{
    ContadorRotacion=0;
}

if( TiempoRotacion == 0 && day(Tiempo)<19 )
{
```

```
EstadoRotacion=1;
digitalWrite(PinRotacion, HIGH);
ContadorRotacion=ContadorRotacion+3;
delay(3900);
}
else
{
EstadoRotacion=0;
digitalWrite(PinRotacion, LOW);
delay(100);
}
if( day(Tiempo)>=19 && Contador2==0 )
{
Contador2=1;
digitalWrite(PinRotacion, HIGH);
delay(2100);
digitalWrite(PinRotacion, LOW);
delay(50);
}
void RotacionIF()
{
digitalWrite(PinRotacion, HIGH);
delay(2100);
digitalWrite(PinRotacion, LOW);
delay(50);
}
void Estado_Ventilacion()
{
if(Temperatura <= 37.0 )
{
EstadoVentilacion=1;
analogWrite(PinVentilacion, 255);
delay(50);
}
if(Temperatura >= 38.0 )
{
EstadoVentilacion=0;
analogWrite(PinVentilacion, 150);
delay(50);
}
}
void Estado_Calefaccion()
{
if(Temperatura <= 37.0 )
```

```
{  
EstadoCalefaccion=1;  
digitalWrite(PinCalefaccion, HIGH);  
delay(50);  
}  
if(Temperatura >= 38.0 )  
{  
EstadoCalefaccion=0;  
digitalWrite(PinCalefaccion, LOW);  
delay(50);  
}  
}  
//-----SONIDOS Y ALERTAS-----//  
void Buzzer_inicio()  
{  
tone(Buzzer,293,100);  
delay(100);  
tone(Buzzer,440,100);  
delay(100);  
tone(Buzzer,523,100);  
delay(100);  
tone(Buzzer,587,100);  
delay(200);  
tone(Buzzer,587,100);  
tone(Buzzer,698,100);  
return;  
}  
void Buzzer_sonido0()  
{  
tone(9,440,100);  
delay(100);  
tone(9,520,100);  
delay(100);  
tone(9,550,100);  
delay(200);  
tone(9,550,100);  
delay(200);  
tone(9,550,100);  
delay(100);  
tone(9,650,100);  
tone(9,700,100);  
return;  
}  
void Buzzer_sonido1()  
{
```

```
tone(Buzzer,200,100);
delay(100);
tone(Buzzer,300,100);
return;
}
void Buzzer_sonido2()
{
tone(Buzzer,100,100);
delay(100);
tone(Buzzer,400,100);
return;
}
void Buzzer_sonido3()
{
tone(Buzzer,100,100);
delay(100);
tone(Buzzer,800,100);
return;
}
//-----DATOS A PC-----
void InicioDataExcel()
{
Serial.begin(9600);
Serial.println("CLEAR SHEET"); // clears starting at row 1

Serial.println("LABEL,Date,Time,Dia,Hora,Minuto,Temperatura,Humedad,Ventilacion,Rotacion,Cale
faccion");
}
void DataExcel()
{
if(second(Tiempo)==0 || second(Tiempo)==1|| second(Tiempo)==10|| second(Tiempo)==11||
second(Tiempo)==20|| second(Tiempo)==21|| second(Tiempo)==30|| second(Tiempo)==31||
second(Tiempo)==40|| second(Tiempo)==41|| second(Tiempo)==50|| second(Tiempo)==51)
{
Serial.print("DATA,DATE,TIME,");
Serial.print(day(Tiempo)); Serial.print(",");
Serial.print(hour(Tiempo)); Serial.print(",");
Serial.print(minute(Tiempo)); Serial.print(",");
Serial.print(Temperatura); Serial.print(",");
Serial.print(Humedad); Serial.print(",");
Serial.print(EstadoVentilacion); Serial.print(",");
Serial.print(EstadoRotacion); Serial.print(",");
Serial.println(EstadoCalefaccion);
}
}
```