



**“MODELO FUNCIONAL DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS PARA LA
INDUSTRIA AVÍCOLA” PROYECTO INTERDISCIPLINARIO
DESARROLLADO ENTRE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**JAIRO ALONSO JIMÉNEZ RUEDA
JHON FREDY VELOZA CARO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2008**



**“MODELO FUNCIONAL DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS PARA LA
INDUSTRIA AVÍCOLA” PROYECTO INTERDISCIPLINARIO
DESARROLLADO ENTRE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**JAIRO ALONSO JIMÉNEZ RUEDA
JHON FREDY VELOZA CARO**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniero Mecánico

Ingeniero electrónico

Directores:

Ing. OMAR ARMANDO GELVEZ ARROCHA.

Phd. CARLOS RODRIGO CORREA CELY

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA**

2008

DEDICATORIA

*A Dios por darme la fortaleza suficiente para superar los obstáculos, por iluminarme en los momentos de oscuridad, por darme paciencia cuando más la necesitaba,
Gracias Señor.*

*A mi mamá, Tulita, por tenerte conmigo, por tu cariño, tus sabias lecciones, comprensión y paciencia, sin tu apoyo no hubiera sido posible realidad este sueño.
Gracias mamita.
Te amo.*

*A mi padre, Bernardo, por sus consejos, su apoyo incondicional, sus ideas y toda la formación que siempre me ha dado, le dedico este triunfo en mi vida.
Gracias papá.*

*A mi hermana, por su comprensión y colaboración ilimitada.
Gracias, Raquel*

*A mí querida novia, Leidy, por tu amor y comprensión, por confiar en mis ideas y mis locuras, por tu colaboración y ser mi soporte en los momentos más difíciles de este proceso, por tu paciencia,
Gracias
Te amo.*

Jairo Alonso Jiménez Rueda

*La verdadera grandeza de un hombre reside en la conciencia de un propósito honrado en la vida, fundada en una justa estima de si y de los demás, en un autoexamen frecuente y en la constante obediencia a la idea que considera justa, sin preocuparse de lo que los demás puedan pensar o decir, o de si hacen o no lo que el piensa, dice y hace.
Marco Aurelio*

DEDICATORIA

A Dios por mostrarme que los sueños se pueden hacer realidad.

A mi padre, José, la confianza y el apoyo que depositas en mí por querer realizar los sueños que tengo.

A mi madre, Dione, a pesar que no soy tu hijo biológico, me acogiste y me brindaste todo el amor que una madre le puede brindar a su hijo.

A mi hermano, Alex, aunque nunca pude compartir y sentir el amor de hermano se que en el fondo de tu corazón quiere lo mejor para mí.

A mi hermana, Ángela, de pequeña empezaste a comprender que hay que sacrificarse el día de hoy para tener un mejor mañana.

A la familia veloza, por que de ellos aprendí que lo más hermoso es la unión familiar, que pase lo que pase siempre estarán para apoyar y que no todo es el dinero para sentir los ratos de felicidad que se viven cuando todos se encuentran reunidos.

Jhon Fredy Veloza Caro.

AGRADECIMIENTOS

Al profesor, Ing Omar Armando Gelvez, director de proyecto, por su incondicional y desinteresada colaboración, por sus acertadas soluciones en los momentos más complicados de este proyecto de grado.

Al señor, Miguel Duarte, colaborador y amigo, gerente de Tecnisoldaduras especiales, por su cooperación y ayuda, fue un gran aporte en la construcción del equipo.

A todos los compañeros y amigos de la escuela de ingeniería mecánica, que de una u otra forma colaboraron, para culminar con satisfacción este proceso.

A todo el grupo estudiantil ERA por la colaboración prestada incondicionalmente durante todo el desarrollo del proyecto.

A señor William David Jiménez Niño por darnos el voto de confianza para que este proyecto se realizara lo mejor posible.

A todas aquellas personas que piensan y confían que el ingeniero colombiano debe poner más atención al sector agropecuario.

Gracias

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. DESCRIPCIÓN Y GENERALIDADES DE LAS INCUBADORAS DE HUEVO	22
1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO	22
1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO PARA LA COMUNIDAD	22
1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO PARA LA UNIVERSIDAD	23
1.4 MARCO TEÓRICO	24
1.5 DESCRIPCIÓN DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS	25
1.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO	26
2.--DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS INCUBADORAS DE HUEVOS	31
2.1 PROCESO DE INCUBACIÓN	31
2.2 REQUERIMIENTOS MINIMOS DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS	33
2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO CONSTRUIDO	36
3. PARTES CONSTITUTIVAS DEL EQUIPO Y PROCESO DE DISEÑO DE LA INCUBADORA DE HUEVOS AUTOMÁTICA	39
3.1 DISPOSITIVO DE VOLTEO	40
3.1.1 Estructura portahuevos.	40
3.1.2 Transmisión de potencia.	56
3.1.3 Sistema motriz	68
3.1.4 Sistema de control	70
3.2 CUARTO DE INCUBACIÓN	73
3.2.1 Panel de control..	79

3.3	DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO Y HUMDIFICACION -----	80
3.3.1	Diseño y selección del calentador. -----	82
3.3.2	Diseño y selección del humidificador. -----	100
3.4	EXTRACTOR -----	117
4.	PRUEBAS REALIZADAS A LA INCUBADORA DE HUEVOS -----	119
4.1	PRUEBA N ° 1: MECANISMO DE VOLTEO-----	119
4.2	PRUEBA N ° 2: CONTROLADOR PI -----	120
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCUBADORA-----	128
5.1	FACTORES DE INVERSIÓN -----	130
6.	ANÁLISIS CAD - CAE -----	132
6.1	SIMULACION ESFUERZOS MECÁNICOS -----	132
6.2	SIMULACION ESFUERZOS TERMICOS -----	137
6.3	PLANOS -----	140
	CONCLUSIONES -----	154
	BIBLIOGRAFÍA	141
	ANEXOS -----	161

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Vista general de la incubadora -----	29
Figura 2. Protocolo de volteo -----	35
Figura 3. Forma esquemática del funcionamiento de la incubadora-----	37
Figura 4. Estructura porta huevos -----	41
Figura 5. Bandeja porta huevos -----	44
Figura 6. Estructura portabandejas-----	44
Figura 7. Eje del portabajdejas-----	46
Figura 8. Eje principal del portabanderas-----	50
Figura 9. Montaje de los soportes de los portabajdejas -----	55
Figura 10. Partes del mecanismo de volteo-----	56
Figura 11. Mecanismo de barras para el volteo-----	57
Figura 12. Reductor sobre el bastidor -----	61
Figura 13. Detalles del reductor-----	61
Figura 14. Montaje reductor-----	65
Figura 15. Montaje reductor sinfín corona sobre los rodamientos-----	68
Figura 16. Sistema motriz -----	70
Figura 17. Sistema en Posición horizontal -----	71
Figura 18. Sistema en posiciones extremas -----	71

Figura 19. Circuito reloj tiempo real DS1307 -----	72
Figura 20. Dimensionamiento cuarto incubación -----	75
Figura 21. Pared de la incubadora -----	76
Figura 22. Panel de control -----	79
Figura 23. Energía requerida en el proceso -----	83
Figura 24. Elemento Calentamiento -----	89
Figura 25. Partes del generador de calor-----	92
Figura 26. Sistema de control de temperatura -----	93
Figura 27. Diagrama de flujo control de temperatura-----	96
Figura 28. Señal alterna controlada-----	97
Figura 29. Circuito detector de cruce por cero -----	97
Figura 30. Circuito etapa de potencia temperatura -----	98
Figura 31. Circuito de protección -----	99
Figura 32. Tarjetas pcb diseñadas -----	100
Figura 33: elemento de humidificación-----	101
Figura 34. Sistema de humidificación -----	102
Figura 35. Humedad requerida en el proceso-----	103
Figura 36. Humedad relativa de Bucaramanga -----	104
Figura 37. Temperatura ambiente de Bucaramanga -----	104
Figura 38. Carta psicrometrica -----	105
Figura 39. Curva característica del electro-válvula-----	112
Figura 40. Sistema de control de humedad-----	114
Figura 41. Control ON-OFF con brecha diferencial -----	114

Figura 42. Control de la señal alterna para la humidificación -----	115
Figura 43. Diagrama de flujo de control de humedad -----	116
Figura 44. Etapa del potencia humidificador-----	117
Figura 45. Prueba protocolo de volteo-----	119
Figura 46. Comportamiento de la temperatura al variar las constantes K_p , K_i -----	120
Figura 47. Comportamiento de la temperatura y la humedad relativa-----	123
Figura 48. Nacimiento de pollitos-----	126
Figura 49. Incubadora construida -----	127
Figura 50. Deformación total del tornillo -----	133
Figura 51. Esfuerzos equivalentes en el tornillo -----	133
Figura 52. Factor de seguridad en el tornillo-----	134
Figura 53. Deformación total de la corona y el eje -----	134
Figura 54. Deformación total de la corona -----	135
Figura 55. Factor de seguridad de la corona -----	135
Figura 56. Esfuerzos en el conjunto corona y tornillo -----	136
Figura 57. Deformaciones en el conjunto corona y tornillo-----	136
Figura 58. Modelamiento simulación -----	137
Figura 59. Modelamiento y simulación en ANSYS-----	138

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Características de la incubadora construida-----	28
Cuadro 2. Cuadro comparativo de diferentes gamas de incubadoras-----	30
Cuadro 3. Secciones de la incubadora construida-----	39
Cuadro 4. Componentes del mecanismo de volteo-----	40
Cuadro 5. Características de las bandejas portahuevos-----	42
Cuadro 6. Características físicas de las bandejas-----	43
Cuadro 7. Características físicas del portabanderas-----	45
Cuadro 8. Torque estable-----	48
Cuadro 9. Torque arranque-----	49
Cuadro 10. Cargas aplicadas sobre el eje de pivote-----	49
Cuadro 11. Diámetro del eje-----	50
Cuadro 12. Rodamientos-----	51
Cuadro 13. Características prisioneros-----	52
Cuadro 14. Factores afectan resistencia fatiga-----	53
Cuadro 15. Sensibilidad a la entalla-----	54
Cuadro 16. Características de mecanismo barras-----	59
Cuadro 17. Relaciones de de reducción del mecanismos-----	59
Cuadro 18. características físicas reductor sinfín corona-----	63
Cuadro 19. Descripción del reductor sinfín corona-----	64

Cuadro 20. Eficiencia del reductor -----	66
Cuadro 21. Análisis de esfuerzos tornillo sin fin -----	67
Cuadro 22. Análisis de esfuerzos eje corona -----	67
Cuadro 23. Características de las paredes -----	78
Cuadro 24. Partes sistemas de control temperatura y humedad -----	81
Cuadro 25. Energía requerida en el proceso -----	89
Cuadro 26. Agua requerida por huevo -----	109
Cuadro 27. Agua requerida por minuto -----	109
Cuadro 28. Caudal de agua requerido -----	110
Cuadro 29. Dimensiones del tanque -----	111
Cuadro 30. Resultados de las pruebas con el controlador PI -----	122
Cuadro 31. Consumo de energía -----	124
Cuadro 32. Estadísticas de incubación -----	125
Cuadro 33. Costos totales de fabricación -----	128
Cuadro 34. Recuperación de la inversión -----	129
Cuadro 35. Costo de energía por pollito -----	130

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Cuadro 1. Recuperación de la inversión -----	14
Cuadro 2. Costo de energía por pollito-----	72

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. 1. Operación y mantenimiento de la incubadora -----142

GLOSARIO

AC: corriente alterna (Alternating current)

CLUECA: estado de la gallina y de otras aves cuando se echan sobre los huevos para empollarlos.

DISPOSITIVO: mecanismo automático para uso en la industria

DC: corriente directa (direct current)

DISPOSITIVO: Mecanismo automático para uso en la industria

EEPROM: memoria programable de solo lectura con borrado electrónico

ELECTRO-VÁLVULA: válvula de paso de fluido, actuada por medio de solenoide eléctrico de funcionamiento proporcional u on/off

ESPUMA DE POLIURETANO: conjunto de dos componentes líquidos, polioli e isocianato, que reaccionan químicamente sobre una superficie a aislar, donde rápidamente se expanden y endurece.

GALPÓN: construcción utilizada para cría de aves.

HUMEDAD RELATIVA: es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica.

MECANISMO GRASHOF: mecanismo cuadrilátero articulado en el cual al menos una de sus barras da una vuelta completa

LCD: pantalla de cristal líquido (liquid crystal display).

OVOSCOPIA: técnica de diagnosis embrionaria, no siendo necesaria la rotura del huevo, pudiéndose observar el estado del embrión fecundado y su desarrollo, por medio de una fuente de luz proyectada sobre el huevo.

PCB: tarjeta de circuito impreso, por sus siglas en ingles (printed circuit board).

PWM: modulación por ancho de pulso (pulse width modulation)

SENSOR: dispositivo que detecta algunas cantidades externas. Los sensores convierten la cantidad física en otra, estos producen señales eléctricas relacionadas a la cantidad detectada.

SINFÍN CORONA: reductor de velocidad utilizado para transmitir potencia desde una fuente motriz, hasta un equipo, reduciendo la velocidad y aumentando el torque.

TIMER: Temporizador

TÍTULO:
MODELO FUNCIONAL DE UNA INCUBADORA PARA USO EN LA INDUSTRIA
AVICOLA *

AUTOR:
Jairo Alonso Jiménez Rueda**
Jon Freddy Veloza Caro***

PALABRAS CLAVES:
Diseño y Construcción, Mecánica, Máquina, incubadora, huevos, control, avicultores

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto es el diseño y la construcción de un equipo de incubación, con capacidad de 210 de huevos, automático para la industria avícola. El equipo se encarga de crear las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa óptimas, así como un movimiento oscilante a los huevos, que permitan el desarrollo embrionario de los mismos, así como su posterior nacimiento en excelentes condiciones.

El presente proyecto de grado, diseño funcional de una incubadora de huevos para uso en la industria avícola, surgió como respuesta a las diversas necesidades que actualmente existen dentro de sector, en donde los pequeños avicultores, en muchas ocasiones, se ven obligados a adquirir pollitos a altos costos dentro de mercado o en el peor de los casos no poder adquirirlos debido a la gran demanda de animales por parte de compradores nacionales e internacionales; además se debe tener presente que existen regiones muy apartadas de los centros industriales donde transportar cualquier animal es difícil, acarreando costos y pérdidas a los pequeños empresarios.

El diseño y construcción del equipo se hizo realidad gracias a la gran colaboración de los directores de proyecto de grado así como de todas aquellas personas que participaron en dicho proceso. Por medio del equipo se logro dar vida a 36 pollitos, de 48 huevos fértiles, obteniendo una eficiencia del 75%, a menor consumo de energía comparativamente con los equipos del mercado.

*Trabajo de Grado

**Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ing. Omar armando Gelvez Arrocha.

***Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ciencias Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y telecomunicaciones. Phd. Carlos Rodrigo Correa Cely

TITLE :
MODEL FUNCTIONAL OF AN INCUBATOR FOR PURPOSE IN THE POULTRY INDUSTRY*

AUTHORS:

Jairo Alonso Jimenez Rueda**

Jhon Freddy Veloza Caro***

Keywords

Design and construction, mechanics, machine, incubator, control, poultry farmers.

Description

The purposes of this Project are the design and the construction of the automatic incubator's eggs unit for the poultry industry. This device makes the optimum environmental conditions of temperature and relative dampness, makes an oscillating movement to the eggs, all of this allows the egg's embryo process and the subsequent birth in excellent conditions.

The origins of this thesis are in the varied requirements that exists in this sector, where the small poultry farmers in many times to be obliged to acquire more expensive chicks or in the worst situation the poultry farmers don't get it, because of the great animals demand on the part of national and international purchasers. Also it should be kept in mind, that very remote regions of the industrial centers exist, where to transport any animal is difficult carrying costs and lost to the small managers.

The design and construction of the device was made thanks to the collaboration of the thesis's directors and all those people that participated in this process. Through the unit, you are able to give life to 36 chickens from 48 fecundated eggs, obtaining an efficiency of the 75%, to smaller energy consumption comparatively with the other products in the business.

* proyect degree

** Industrial University of Santander. Faculty of Physical Sciences - Mechanical. School of Mechanical Engineering . Ing. Omar armando Gelvez Arrocha.

*** Industrial University of Santander. Faculty of Physical Sciences - Mechanical. School of Electrical Engineering, electronics and telecommunications. . Phd. Carlos Rodrigo Correa Cely

INTRODUCCIÓN

Las incubadoras de huevo en la industria avícola se utilizan para dar vida a los pollitos de engorde o postura, reemplazando a la gallina en su proceso natural de incubación, manteniendo unas condiciones ambientales controladas de temperatura y humedad relativa, así como un movimiento oscilante de los huevos, creando las mejores condiciones para el desarrollo del embrión, el cual en un tiempo aproximado de 21 días, estará listo para eclosionar del cascaron y comenzar su vida productiva.

El desarrollo de la industria aviar, no estaría en su apogeo actual, si estos equipos no participaran dentro del proceso; la gallina no está siempre clueca (disposición del animal de incubar los huevos), por lo tanto la rata de producción si se dependiera de estos animales sería muy baja, además de los altos costos que esto acarrea. La incubadora de huevo permite producir pollitos en cualquier época del año, sin límites de producción, solo las impuestas por el equipo y por supuesto a un costo mucho menor.

El diseño y construcción de este equipo, está enfocado hacia los pequeños avicultores, los cuales debido a su poca capacidad económica y, en muchas ocasiones la lejanía de sus granjas, es difícil adquirir los pollitos recién nacidos, los cuales durante el transporte muchas veces mueren, generando enormes pérdidas económicas a sus dueños.

Existe además, otro sector importante de la población objetivo de este equipo, como la cría y explotación de aves exóticas, tales como pavo reales o faisanes, los cuales adquieren precios bastante onerosos dentro del mercado nacional.

De esta forma, siendo consecuentes con nuestra preparación académica y las diversas necesidades tecnológicas que existen dentro del sector agrícola, se propuso construir un equipo el cual permitiera solucionar uno de los muchos problemas del sector, aplicando tecnología desarrollada en la universidad con miras al mejoramiento de la calidad de vida de muchas personas y ofreciendo una solución real a los problemas que actualmente se tienen en el país.

1. DESCRIPCIÓN Y GENERALIDADES DE LAS INCUBADORAS DE HUEVO

1.1 OBJETIVO DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es el diseño y construcción de una incubadora de huevo completamente automática, la cual debe ser accesible desde el punto de vista económico a pequeños avicultores.

1.2 ALCANCE DEL ESTUDIO PARA LA COMUNIDAD

El uso de la tecnología y en especial de la automatización en las industrias, debe ser un recurso de fácil apropiación por las empresas, y en especial del sector agrícola por tratarse de un renglón al cual no se le presta la atención necesaria, la tecnología aplicada a las diversas necesidades aumenta la productividad y ayuda a mejorar la calidad de los productos, disminuyendo el trabajo físico, aumentando la competitividad de las empresas.

El mercado actual cuenta con la maquinaria necesaria para el desarrollo a gran escala de la industria avícola, desafortunadamente no es de fácil acceso para los pequeños empresarios y campesinos y los únicos que obtienen beneficio de la tecnología son los grandes terratenientes.

El pequeño avicultor recurre a los métodos tradicionales de producción de pollitos, utilizando la gallina, comprando los pollitos en el mercado o para los más osados incubando sus propios huevos pero de forma manual con equipos muy rudimentarios, lo cual los hace poco competitivos en

comparación con la maquinaria especializada que se ofrece actualmente en el mercado.

Esta situación da como resultado un producto costoso donde difícilmente será el campesino un competidor fuerte en el mercado y sus márgenes de rentabilidad serán muy bajos trayendo como consecuencia pobreza y el bajo crecimiento económico.

Las soluciones a esta situación pueden ser varias, pero implican necesariamente fuertes políticas de estado, en las cuales se incluyan subsidios al pequeño avicultor para mejorar su producción, préstamos bancarios a bajas tasas de interés y sobre todo la fácil adquisición de equipos para las diversas necesidades que dentro del sector avícola se tienen y en especial de los equipos de incubación.

1.3 ALCANCE DEL ESTUDIO PARA LA UNIVERSIDAD

Es fundamental que la universidad colabore con el desarrollo de la sociedad porque en sí esta es la razón de su existencia y esta es una oportunidad más para que ella exprese su compromiso en el mejoramiento de la calidad de vida mediante el desarrollo y la aplicación de nuevas tecnologías.

El diseño y la construcción de una incubadora de huevos automática a un costo más razonable abastecerían al mercado con un equipo acorde con las necesidades de los pequeños avicultores, cumpliendo de esta manera el papel de la universidad para con la sociedad, dando así una solución real a los muy diversos problemas que se presentan en el campo y ofreciendo una solución a la medida del pequeño avicultor.

Además se espera que este proyecto sea la motivación para que se sigan desarrollando este tipo de trabajos dentro de la universidad enfocados hacia el sector agrícola con el fin de aportar cada día más herramientas para el desarrollo real del sector en el país.

1.4 MARCO TEÓRICO

El rendimiento y productividad de la agricultura y su explosión hacia el consumo masivo de pollo ha sido el producto de la aplicación de la tecnología a la producción y comercialización de pollo.

Antiguamente el pollo se producía de forma muy rudimentaria, partiendo de las gallinas y gallos puestos en un corral, la gallina se encarga de poner el huevo, empollarlo, esperar a que naciera y su consecutiva crianza y engorde hasta alcanzar la edad adecuada para su consumo.

Esta forma de producción siempre fue útil y ha sido usada durante muchos años pero actualmente y debido a la mejora de procesos y la necesidad de ser más competitivos se ha hecho una transformación total de esta industria haciendo uso de las nuevas tecnologías de la automatización.

Las empresas avícolas son focos de alta tecnología y las incubadoras son solo el comienzo de una gran cadena de producción que actualmente crece a pasos agigantados

Gracias a la utilización de las incubadoras de huevo se pueden producir grandes cantidades de pollos para engorde a precios razonables permitiendo que más familias se alimenten bien a precios mucho menores.

La utilización de las incubadoras de gran tamaño y alta productividad se da en las grandes industrias de producción de pollo, pero existen pequeños avicultores los cuales difícilmente podrán acceder a esta tecnología

extranjera por lo cual un equipo que le brinde las mismas prestaciones de menor capacidad y costo más razonables puede convertirse en una solución muy practica para su pequeño negocio.

1.5 DESCRIPCIÓN DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS

Una incubadora de huevos es un equipo utilizado en la industria avícola en el proceso de producción de polluelos, el cual sustituye a la gallina durante el tiempo en el cual se empollan los huevos hasta que nazca el pollito; el equipo mantiene las condiciones ambientales necesarias de temperatura y humedad en los valores óptimos con el fin de garantizar las mayores probabilidades de éxito y así lograr la mayor cantidad de nacimientos a partir de los huevos fecundados introducidos en el equipo.

Las incubadoras de huevos se utilizan para producir todo tipo de especies aviares y reptiles tales como gallina, pato, avestruz, oca, gansos y reptiles tales como iguanas y víboras.

La verdadera importancia de una incubadora de huevo radica en la sustitución de la gallina en el momento de empollar el huevo, ya que, teniendo presente que las gallinas solo durante ciertas temporadas están cluecas y el resto del tiempo no incubaran; el equipo permite incubar polluelos durante cualquier época del año sin importar en que temporada se encuentre la gallina.

Además la incubadora permite aumentar la eficiencia de los nacimientos, haciendo de la industria avícola un negocio rentable y que fácilmente pueda ser llevado a grandes escalas tal cual cómo se maneja actualmente en Santander.

La incubadora de huevos se compone principalmente de un elemento calefactor, un humidificador y un mecanismo de volteo de los huevos, todo esto manejado de forma automática, con el objetivo de controlar de forma exacta los valores de temperatura y humedad relativa, además de realizar el volteo cada cierto periodo de tiempo exacto.

Los huevos se introducen dentro de un recinto cerrado el cual conserva las condiciones ambientales controladas dentro de los valores establecidos durante el periodo de incubación, que en el caso de la gallina es de 21 días a partir de la fecha de iniciación.

Existen diversas capacidades de incubadoras que se pueden encontrar comercialmente. Los modelos de pequeña capacidad de alrededor de 50 huevos para aplicaciones caseras, los modelos de mediana capacidad para 200 – 1000 huevos que es nuestra aplicación específica; los modelos grandes que es incubadoras de 1000 - 3000 huevos de gallina y las incubadoras de grandes dimensiones y de aplicación industrial las cuales pueden llegar hasta los 150.000 huevos.

Las incubadoras de huevo dependiendo alto grado de automatización pueden venir equipadas con contadores de tiempo real, sistemas de energía auxiliares, nacedoras, elementos de lectura del estado de las variables; además de utilizar energías primarias tales como el gas natural.

1.6 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROYECTO

El uso de la tecnología de automatización al sector avícola está encaminada a aumentar la eficiencia de los procesos y en especial en la parte de incubación que es el objetivo del proyecto. En toda empresa de explotación aviar sin importar la especie que se desee producir, es necesario producir los

pollos que se desean engordar pero debido a los altos costos de producirlos y sobre todo a la baja eficiencia de los equipos construidos de forma casera, se propone realizar el diseño y la construcción de un equipo de incubación adoptando las técnicas propias y extranjeras y con criterios novedosos y económicos para la mejor aplicación en nuestro medio.

La incubadora de huevo a diseñar está orientada a los pequeños avicultores los cuales debido a limitaciones económicas no pueden acceder a los equipos de última generación ofrecidos por las empresas multinacionales pero que a su vez poseen un mercado en potencial desarrollo y que por falta de tecnología no le pueden sacar provecho al máximo.

La incubadora construida está constituida por las siguientes partes:

- Mecanismo de volteo automático el cual se encarga de mover los huevos cada hora durante los primeros 18 días, haciéndolos girar 45° con respecto a su posición inicial. Está compuesto por:
 - ◆ Bandejas portahuevos construidas a la medida, con el fin de sostener los huevo y permitan el flujo de continuo de aire caliente a través de los mismos
 - ◆ Estructura de aluminio para colocar las bandejas con huevos de bajo peso y gran resistencia.
 - ◆ Mecanismo barras para convertir el movimiento rotativo del motor en oscilante de la estructura.
 - ◆ Reductor de velocidad, utilizado para aumentar el torque del motor y bloquear la estructura con el fin de evitar el movimiento involuntario de las bandejas de huevos y posible daño de los mismos.
 - ◆ Motor eléctrico de 5w de alto torque y baja velocidad –alrededor de 4rpm-, de fácil adquisición.

- Sistema de calentamiento automático el cual mantiene la temperatura al interior del cuarto entre 37.5°C y 37.7°C de forma constante durante los 21 días. Este sistema incluye resistencia eléctrica para el calentamiento, el sensor de temperatura y el sistema de control.

- Sistema de humidificación automático el cual mantiene la humedad relativa al interior del cuarto entre 60% - 65% RH los primeros 18 días y los últimos 3 días en 75 - 80%. Este sistema incluye humidificador, el sensor de humedad relativa y el sistema de control.

- Cuarto de incubación construido con el fin de evitar al máximo las pérdidas de energía del sistema.

- Calendario en tiempo real el cual realiza el conteo del tiempo de incubación, con el fin de tener informado al avicultor sobre el estado de sus huevos.

- Bandejas nacedoras con el fin de colocar los huevos que próximamente eclosionan y así evitar la caída del pollito y que se estropee.

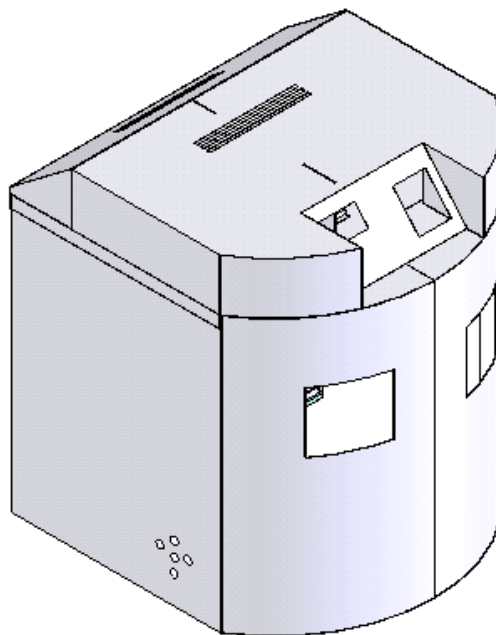
Cuadro 1. Características de la incubadora construida

VOLTEO	MOTOR	Potencia de 5w a 3rpm
	REDUCTOR	Sin fin corona relación velocidad = 18:1
	PORTA BANDEJAS	Estructura aluminio para colocar 5 bandejas portahuevos o 5 nacedoras Giratorio en 90°
	BANDEJAS	capacidad de 42 huevos independientes

CALENTAMIENTO	RESISTENCIA ELÉCTRICA	Potencia disipada 200w
	SENSOR TEMPERATURA	Sensor SHT11
	SISTEMA CONTROL	Control PI
HUMIDIFICACION	HUMIDIFICADOR	Humidificación con vapor de agua
	SENSOR HUMEDAD RELATIVA	Sensor SHT11
	SISTEMA CONTROL	Control ON-OFF
CUARTO INCUBACIÓN	AISLANTE TÉRMICO	Espuma de poliuretano
	MATERIAL ESTRUCTURAL	Lamina galvanizada
ACCESORIOS	ILUMINACIÓN	Accionamiento manual
	NACEDORA	Bandejas nacedoras para los pollitos

La figura 1 muestra la vista exterior del equipo diseñado.

Figura 1. Vista general de la incubadora



Cuadro 2. Cuadro comparativo de diferentes gamas de incubadoras

CARACTERÍSTICA	MODELO 200	MOD 25 SID	AUTOMATIC 200	MFI 01
Capacidad de huevos (gallina)	240	240	208	215
Potencia promedio	250w	250w	175w	150w
Grado automatización	medio	alto	medio	alto
Humidificación automática	No	si	no	si
Bandejas nacedoras	si	si	si	si
Peso [kg]	42	42		58
Material paredes	poliéster	poliéster	Madera laminada	Poliéster y metálicas
Precio \$	4.567.802	7.542.619	3.250.746	3.500.000

2. DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO Y CARACTERÍSTICAS DE LAS INCUBADORAS DE HUEVOS

En este capítulo se da una descripción detallada del funcionamiento de una incubadora de huevo para aves, los requerimientos mínimos que debe cumplir para lograr con éxito el proceso de nacimientos de los polluelos y la descripción general de la operación del equipo construido.

2.1 PROCESO DE INCUBACIÓN

El proceso de incubación artificial, simula las condiciones naturales que una gallina ofrece a los huevos para permitir su desarrollo embrionario y nacimiento.

El proceso de incubación, la metodología para dar vida a las aves de forma artificial, partiendo de huevos fecundados, puestos en un recinto bajo condiciones controladas, los cuales al cabo de un tiempo establecido por la naturaleza eclosionan de la cáscara, como su mismo nombre lo indica es un proceso que involucra diversos aspectos, los cuales deben ser muy bien controlados para lograr con éxito la mayor cantidad de nacimientos, fin último del proceso.

Los aspectos más relevantes a tener en cuenta en el proceso de incubación son:

➤ **Calidad de los reproductores:** los reproductores, tanto el macho como la hembra debe ser de la mejor raza de reproducción, animales jóvenes, sanos, fuertes, bien alimentados y aislados de las enfermedades aviares.

➤ **Condiciones optimas de los gallineros para la postura de las aves:** mantener las condiciones ambientales dentro de los galpones en valores estables, permite reducir los niveles de estrés de las aves y aumentar el número de posturas.

➤ **Recogida frecuente de los huevos:** los huevos a incubar deben recogerse con una frecuencia de 4 - 5 veces por día, esto evita la contaminación y la ruptura de los huevos en el nido.

➤ **Condiciones optimas de temperatura y humedad relativa en galpones de reproductores:** la temperatura es el factor más importante que interviene en la incubación artificial ya que este influye en el tamaño del huevo, ya que al aumentar la temperatura ambiental el tamaño del huevo disminuye, la temperatura ambiental confortable para las aves varía entre los 18 °C y los 25 °C ¹

➤ **Selección de los huevos a incubar:** existen recomendaciones para a selección de los huevos a incubar dentro de las cuales se tienen:

- ◆ Ponedoras sanas, maduras y desarrolladas
- ◆ Adsequibilidad al gallo
- ◆ Aves sin consaguinidad
- ◆ Evitar huevos excesivamente grandes y muy pequeños
- ◆ Evitar huevos con la cáscara rota o agrietada
- ◆ Evite huevos deformes

¹ Calidad y producción del huevo en reproductores pesados. Extraído el 10 de noviembre del 2007 desde <http://www.monografias.com/trabajos17/produccion-huevos/produccion-huevos.shtml>

➤ **Equipo de incubación que garantice las condiciones optimas para lograr alta eficiencia de nacimientos**, este es el punto de estudio en el presente libro

➤ **Medidas sanitarias para aves, huevos, galpones, incubadora, etc.**, este factor aumenta la eficiencia de los nacimientos

Como se puede apreciar de acuerdo a las consideraciones arriba expresadas el proceso de incubación depende de muchas variables para lograr con éxito los nacimientos, por lo tanto garantizar el excelente funcionamiento de la incubadora no es suficiente para tener éxito total en reproducción animal, se deben controlar todas las variables para tener alta eficiencia.

Para nuestro caso, el objetivo es el proceso de incubación el cual se explicara con más detalle en la siguiente sección.

2.2 REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE UNA INCUBADORA DE HUEVOS

Para el diseño de la incubadora y su excelente funcionamiento es necesario que el equipo cumpla con las siguientes características mínimas las cuales lo hacen un equipo confiable y de alto rendimiento.

➤ **Condiciones ambientales uniformes y estables respecto de la temperatura y la humedad.** Mantener las condiciones ambientales uniformes y estables durante los 21 días que es el tiempo de incubación para los pollitos, como uno de los factores más importantes y que tienen la mayor influencia en el éxito del equipo.

Para tal efecto estos parámetros deben mantenerse así:²

- Temperatura = [37.5 – 37.8] °C
- Humedad relativa = [60 - 70] % los primeros 18 días
[80 -85] % los últimos 3 días

Los resultados pobres en nacimientos, se producen comúnmente por un control incorrecto de la temperatura y/o de la humedad. El control incorrecto significa que la temperatura o la humedad fueron demasiado altas o demasiado bajas por un lapso suficiente de tiempo que interfirió con el crecimiento y el desarrollo normales del embrión.

La temperatura puede variar durante el tiempo de incubación pero en lo posible no más de un grado centígrado; las temperaturas altas son especialmente serias. Una incubadora demasiado caliente tiende a producir nacimientos tempranos. Una que funcione constantemente a temperatura más baja tiende a producir nacimientos tardíos. En ambos casos el número de polluelos nacidos es bajo.

➤ **Rotación de los huevos 45° cada hora.** Este requerimiento al igual que el anterior, determina el éxito de los nacimientos en las incubadoras de huevo; los huevos durante los primeros 18 días deben ser movidos cada hora 45° con el fin de evitar que los embriones se peguen a la cáscara.

A pesar de que existen diversas teorías acerca del volteo de los huevos, todas coinciden en que este es un factor determinante para el éxito de la

² Procedimiento para la incubación de huevos. extraído del 10 de octubre del 2007 desde <http://www.infomipyme.com/Docs/GT/Offline/agroindustria/incubacionhuevos.htm>.

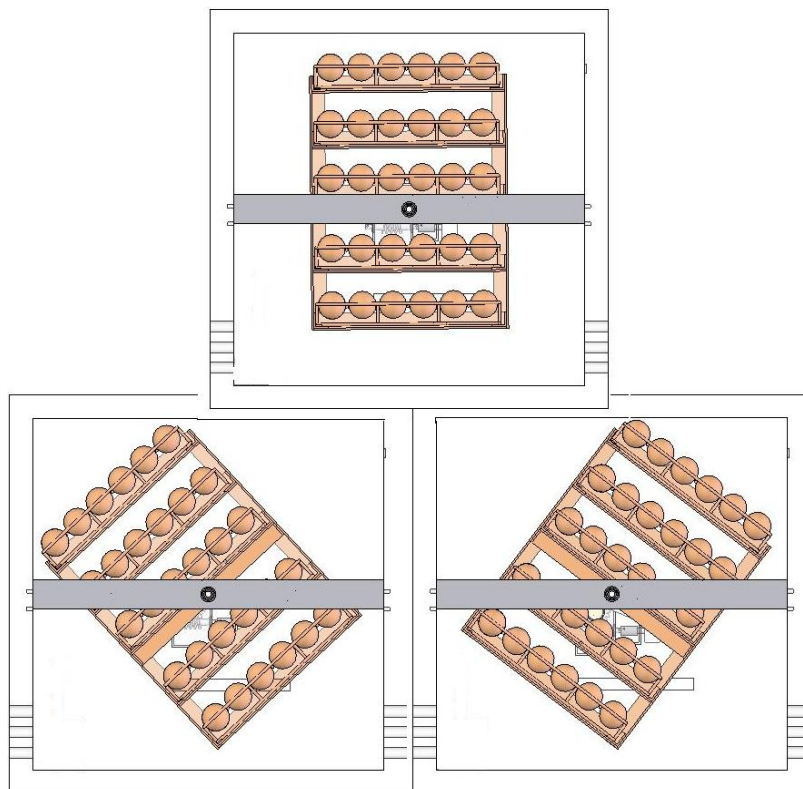
Revista avícola de honduras (2004). control y manejo del calor en las aves de carne. Extraído 10 de octubre del 2007 desde <http://www.anavih.org/publicaciones.html>

Revista industria avícola (febrero 2008). Temperatura de incubación. Extraído 5 de febrero del 2008 desde <http://www.industriaavicola-digital.com/industriaavicola/200802/?folio=14>

incubación, esta labor reemplaza la acción de la gallina de mover los huevos uno a uno en el nido mientras los incuba; las diversas teorías o protocolos de volteo han sido investigados por diversos centros especializados de incubación en el mundo, y de acuerdo a los mejores resultados obtenidos en las investigaciones ³, el protocolo escogido ha sido inclinar los huevos 45° a la derecha durante una hora, colocarlos en posición horizontal una hora y ubicarlos 45° a la izquierda una hora más; este patrón se repite durante los primeros 18 días.

La grafica a continuación describe el proceso.

Figura 2. Protocolo de volteo



³ The poultry research centre. Investigación protocolos alternativos de volteos (octubre 23, 2006). Extraído 12 de enero del 2008 desde <http://www.prc.afns.ualberta.ca/>

Ventilación del cuarto. La ventilación es muy importante durante el proceso de la incubación. Mientras que el embrión se está desarrollando, el oxígeno entra en el huevo a través de la cáscara y el bióxido de carbono se escapa de manera igual. Mientras que los polluelos nacen, requieren de una fuente creciente de oxígeno fresco. Mientras que los embriones crecen, deben existir aberturas de salida de aire que gradualmente se abran para satisfacer la demanda embrionaria creciente de oxígeno.

Debe tenerse presente que a pesar de que este proceso de incubación artificial permite el manejo de las variables de forma muy exacta, el proceso de incubación es algo natural, por lo que tener los huevos encerrados dentro de un cuarto no es provechoso para su desarrollo, es muy importante tener aberturas en las paredes del equipo así como mantenerlo en una pieza con suficiente ventilación.

Capacidad de incubación. La capacidad de incubación del equipo es de 210 huevos por cada periodo de incubación,

2.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO CONSTRUIDO

La figura (3) muestra de forma esquemática el funcionamiento del equipo, como un sistema trabajando en ciclo cerrado, donde se muestra claramente los dos sistemas principales en los cuales se divide el equipo:

➤ **Sistema control:**

El sistema de control se compone de

Controlador

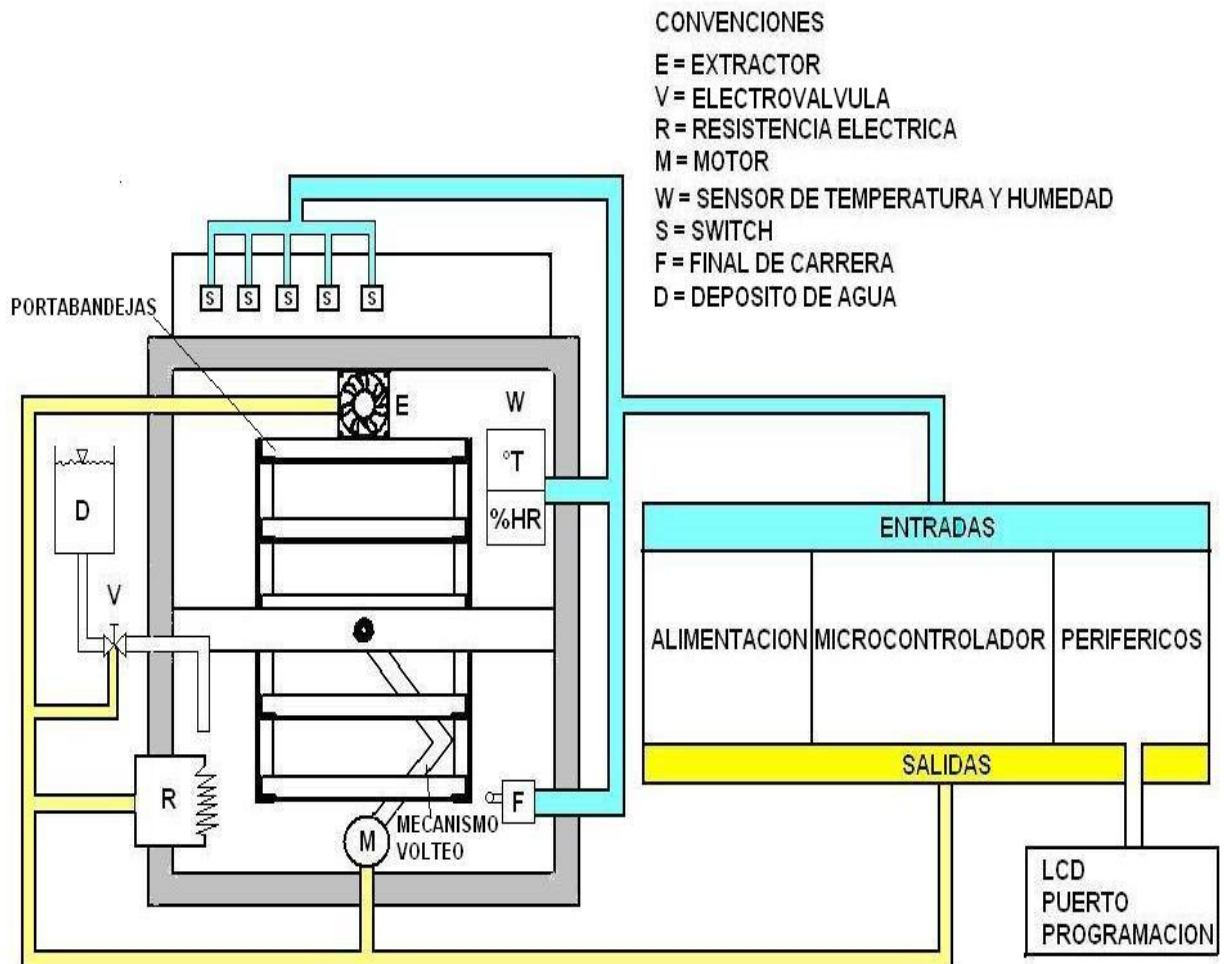
- ◆ Fuente de energía

- ◆ Microcontrolador
- ◆ Periféricos: LCD, puerto programación

Sensores

- ◆ Sensor electrónico de temperatura y humedad relativa
- ◆ Final de carrera del motor
- ◆ Interruptores de interfaz de usuario

Figura 3. Forma esquemática del funcionamiento de la incubadora



➤ **Actuadores.** Dentro de este grupo tenemos para la incubadora

- ◆ Electroválvula
- ◆ Resistencia eléctrica
- ◆ Motor corriente alterna
- ◆ Extractor

➤ **Dispositivos auxiliares**

- ◆ Deposito agua
- ◆ Estructura portahuevos
- ◆ Cuarto de incubación

3. PARTES CONSTITUTIVAS DEL EQUIPO Y PROCESO DE DISEÑO DE LA INCUBADORA DE HUEVOS AUTOMÁTICA

En el presente capítulo se explica en detalle cada una de las partes constitutivas de la incubadora de huevos automática, el proceso de selección y diseño para cada una de las piezas que componen el equipo, así como los criterios utilizados para la construcción del mismo.

El equipo se dividió en cuatro secciones principales de acuerdo a la importancia que cada una tiene en el éxito del proceso de incubación; el orden no implica mayor grado de jerarquía, ya que todas son igual de importantes.

De acuerdo a esto las secciones son resumidas en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Secciones de la incubadora construida

Sección	Sub. sección
Dispositivo de volteo	Bandejas
	Portabandejas
	Sistema motriz
	Temporizador
Cuarto de incubación	
Dispositivo de calentamiento y humidificación	Calentador
	Control de temperatura
	Humidificador
	Control de humedad relativa
Extracción CO2	Extractor
	Temporizador

3.1 DISPOSITIVO DE VOLTEO

El dispositivo de volteo es el conjunto de elementos mecánicos que permiten girar los huevos 45° con respecto a su posición horizontal, con el objetivo de dar cumplimiento a los requerimientos básicos de operación de cualquier incubadora.

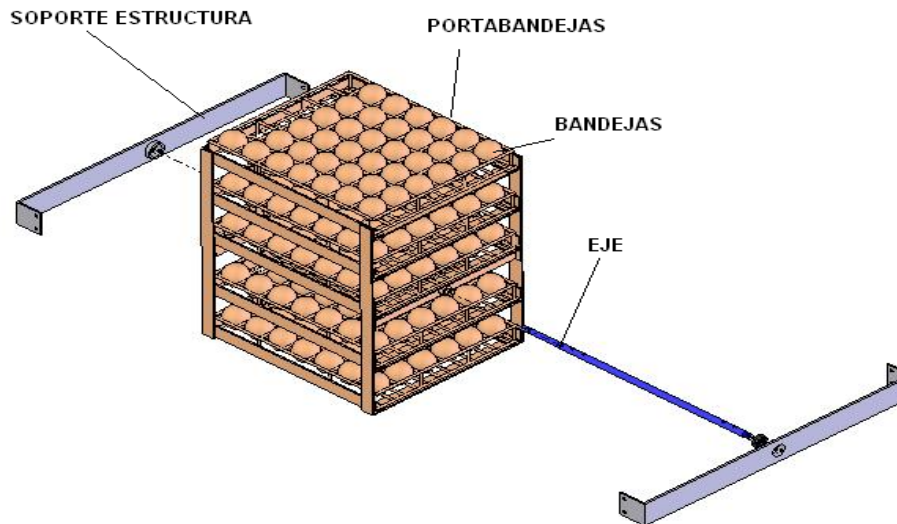
En el cuadro siguiente se enlistan cada uno de los componentes del mecanismo de volteo y la cantidad utilizada en el equipo, así como una breve descripción del mismo.

Cuadro 4. Componentes del mecanismo de volteo

	Elemento	Descripción	Cantidad
Sistema motriz	Motor eléctrico	5w a 3 r.p.m.	1
	Acople motor - reductor		1
Transmisión de potencia	Reductor sin fin corona	Reducción 18:1	1
	Mecanismo de barras	Manivela - biela - balancín	1
Estructura portahuevos	Eje pivote		1
	Soporte estructura		2
	Portabandejas	Capacidad 5 bandejas	1
	Bandejas	Capacidad 42 huevos	5

3.1.1 Estructura portahuevos. Dentro del presente libro se llama estructura portahuevos, a todas las partes que mantienen los huevos en el sitio destinado para esto durante los 21 días de la incubación, y está constituida principalmente por cuatro partes, tal como se enumera en el cuadro anterior y se muestra en la figura siguiente.

Figura 4. Estructura porta huevos



Bandejas. Las bandejas son el elemento diseñado para sostener los huevos en su lugar dentro de la incubadora evitando que se muevan, se choquen o se estropeen; las bandejas diseñadas permiten el flujo de aire continuo a través de ellas y por ende mayores probabilidades de éxito. Están construidas en varilla ornamental de 4mm de diámetro y los huecos donde se acomoda cada huevo está hecho a la medida promedio del diámetro de los huevos AA – 7cm-.

Para el diseño de las bandejas se tuvieron en cuenta diversos factores tanto físicos como dimensionales del equipo y los huevos, con el objetivo de disponer de la mejor forma los 210 huevos de capacidad del equipo, teniendo presente los siguientes factores:

- ◆ Huevos totales = 210
- ◆ Dimensiones mínimas de las bandejas
- ◆ Peso huevos
- ◆ Momento de inercia de la estructura

EL siguiente cuadro resume las características de las bandejas que contienen los huevos dentro de la incubadora.

Cuadro 5. Características de las bandejas portahuevos

Huevos por bandeja	42		
Huevos totales	210		
	Frente	Atrás	Numero bandeja
Huevos	6	7	5
dimensiones (cm.)	39	45,5	
Peso (Kg.)	2,94		
Inercia (cm⁴)	1882,825		

Ejemplo de cálculo

***Para una disposición de cinco bandejas, seis huevos en la parte del frente y siete hacia atrás, para un total de 210 huevos

*** Las dimensiones aproximadas dadas en el cuadro de cada bandeja, se obtienen al multiplicar el número de huevos por cada lado por el diámetro de un huevo estándar, que en este caso se tomo de 6.5 cm.

*** El peso total de los huevos en la bandeja se obtiene de multiplicar el número total de huevos en cada bandeja por el peso de un huevo estándar de gallina que es 70g

*** El momento de inercia de cada bandeja con respecto al eje de simetría horizontal, se calculo así:

M = Peso total de los huevos

a = ancho de la bandeja perpendicular al eje de inercia

b = alto de la bandeja (igual al alto del huevo alrededor de 4 cm.)

I= momento de inercia respecto al eje de inercia

Definiendo las dimensiones de las bandejas, se estudian otros requerimientos

- ◆ Cada huevo debe estar colocado en un agujero independiente.
- ◆ El material de construcción debe ser muy resistente a la humedad.
- ◆ Las bandejas deben permitir el flujo libre de aire entre los huevos.
- ◆ El peso de cada bandeja no debe superar 2 Kg.

De acuerdo a esto, se escogió hacer las bandejas en forma de malla, en varilla metálica de 4 mm de diámetro, con el fin de hacer un diseño sencillo y económico.

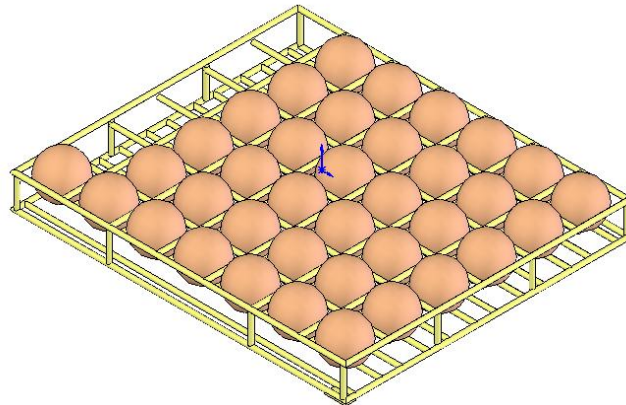
Las características físicas de las bandejas se muestran a continuación en el siguiente cuadro:

Cuadro 6. Características físicas de las bandejas

Características bandejas	
Ancho	32 cm.
Alto	3,3 cm.
Largo	37 cm.
Tamaño agujeros	6,8 cm. x 6,8 cm.
Material	Varilla ornamental diámetro 4 mm
Peso	2.5 Kg.
Peso con los huevos	5.5 Kg.

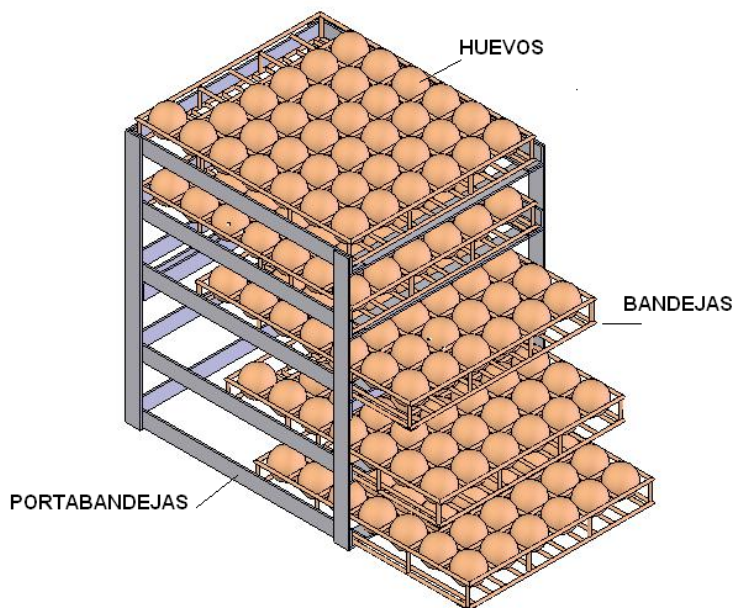
La siguiente grafica ilustra una bandeja, conteniendo los huevos y algunos espacios vacíos.

Figura 5. Bandeja porta huevos



Portabandejas. La estructura portabandejas soporta las bandejas que contienen los huevos, está hecha a las dimensiones requeridas para poder albergar 210 huevos; se compone de cinco sectores de igual tamaño y cada uno puede albergar hasta 42 huevos. Esta construida en aluminio, para reducir peso y soportar las cargas requeridas y darle la suficiente rigidez. Este se muestra en detalle en la figura

Figura 6. Estructura portabandejas



Para el diseño del portabandejas es imprescindible tener presente las medidas externas de las bandejas, mostradas en el cuadro 5, ya que cada bandeja debe entrar suavemente en su posición en el portabandejas.

Las características de diseño que debe cumplir el portabandejas son:

- Permitir alojar 5 bandejas con huevos
- La distancia mínima entre cada bandeja debe ser de 80 mm con el fin de evitar golpes entre los huevos.
- El portabandejas no debe permitir movimiento relativo de las bandejas, ya que puede esto produce quebraduras en los huevos.
- Soportar la carga a la cual está sometida, el peso total de las bandejas y los huevos es de aproximadamente 24 Kg.
- El punto de pivote debe ser simétrico respecto de la estructura, con el fin de evitar un torque de operación demasiado alto.

El diseño del portabandejas se muestra en detalle en el plano I 00 – 08 y I 00 – 09, las características físicas del diseño son mostrados en el siguiente cuadro:

Cuadro 7. Características físicas del portabanderas

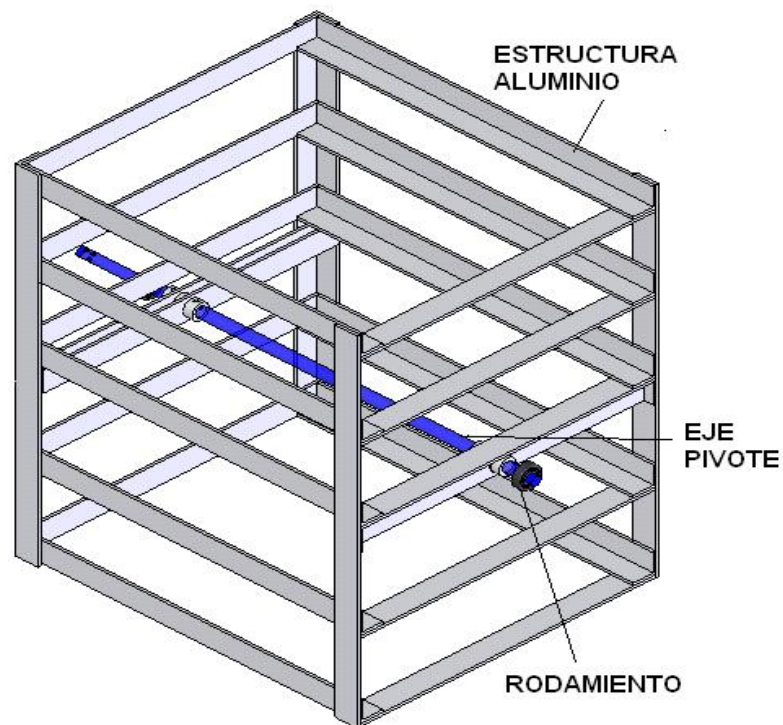
Características portabandejas	
Ancho	33 cm.
Alto	44 cm.
Largo	38 cm.
Material	Platina aluminio 1" x ¼ " Perfil aluminio 1" x 1" x ¼"
Distancia entre bandejas	9.5 cm.
Peso	4.5 Kg.
Peso total con los huevos	32 Kg.

Eje pivote. El eje de pivote sostiene y sirve como punto de pivote de la estructura, permitiendo que el portabandejas pueda girar alrededor de un punto; este eje debe soportar el peso de toda la estructura incluidos los huevos, por lo cual debe ser diseñado para tal fin.

El eje del portabandejas, además de soportar el portabandejas, transmite el torque entre la transmisión de potencia y la estructura, está construido en acero al carbono 1045 y su acabado superficial es mecanizada.

En la figura siguiente se muestra montado junto con el portabandejas.

Figura 7. Eje del portabandejas



Las exigencias de diseño que el eje debe cumplir son:

- Soportar la carga a la cual está sometido, la cual en este caso es de:

- ◆ Fuerza por flexión de 32 Kg.; este dato se obtiene de sumar el peso de los 210 huevos, las 5 bandejas y el portabandejas.
 - ◆ Torsión: Torque estable y torque de arranque, este es el momento aplicado por el motor para hacer girar la estructura
- La longitud total del eje, debe ser igual o superior a la suma de la largo total del portabandejas, el espesor de aislamiento y el espacio para el acoplamiento del mecanismo de barras.
- Deben mecanizarse dos hombros para alojar dos rodamientos uno en cada extremo.

Cálculo de las cargas por torsión:

Torque estable. Para el cálculo del torque estable, debe tenerse presente que todos los huevos no son iguales y la construcción del portabandejas no es homogénea se debe tener en cuenta la excentricidad de los centros de masa y la diferencia de peso entre las dos mitades de las bandejas.

Por lo tanto:

- ◆ Se toma como valor aceptable que la excentricidad máxima de uno de los centros de masa es de 5 cm. respecto del punto de pivote.
- ◆ Existe la posibilidad de una diferencia de peso entre las dos mitades de la estructura de 20g por cada huevo, es decir de 2.1 Kg. - 105 huevos x 20 g.

Teniendo presente la excentricidad de los centros de masa y la diferencia de peso entre los huevos.

Cuadro 8. Torque estable

TORQUE ESTABLE	EXCENTRICIDAD CENTROS DE MASA	$\sum M_O = W1_{mitad\ huevo} \times D_1 =$ $W2_{mitad\ huevo} \times D_2 + T_{total}$ $D_2 = D_1 + e$ <p>*** Se asume que la mitad de los huevos esta excéntrico con respecto al centro de masa de la bandeja</p>	$W_{mitad\ huevos} = N \times w$ $N = 105\text{huevos}$ $w = 0.07\text{Kg}$ $D_1 = 5\text{cm}$	T_{total} = 38 Kg.- cm.
	DIFERENCIA PESO DE LOS HUEVOS	$\sum M_O = W1_{mitad\ huevo} \times D_1 =$ $W2_{mitad\ huevo} \times D_2 + T_{total}$ <p>Se asume que cada uno de los huevos de un lado pesa 20g más que los del otro lado, por lo cual la carga no está simétrica.</p>	$W_{mitad\ huevos} = N \times w$ $N = 105\text{huevos}$ $w = 0.02\text{ Kg.}$ $D_1 = 5\text{cm}$	T_{total} = 10.5 Kg.- cm.
			Torque estable	T_{total} = 48.5 Kg.- cm

Torque de arranque. Para el cálculo del torque de arranque se deben cumplir los siguientes requerimientos:

Durante el arranque, se debe suministrar a la estructura el torque necesario para sacarla de la posición de reposo sin importar la posición que se encuentre y alcanzar una velocidad máxima de 10 r.p.m. en 1 segundo. Esta velocidad está determinada de la necesidad de darle a los huevos un bajo nivel de movimiento y así evitar golpes, quebraduras o rompimiento en la cáscara.

Cuadro 9. Torque arranque

TORQUE ARRANQUE	TORQUE ARRANQUE	$T = I \times \alpha$	T = Torque de arranque I = Momento inercia carga α = aceleración angular	$T_{arranque} = 7.8$ kgf-cm
	MOMENTO DE INERCIA	$I := \frac{W}{12}(a^2 + b^2)$	W = Peso total estructura W = 32 Kg. a = ancho estructura a = 33 cm. b = alto total estructura b = 43 cm.	I = 7834 Kg. cm²
	ACELERACIÓN ANGULAR	$\alpha := \frac{\Delta W}{\Delta t}$	t = 1s w = 10 r.p.m. w = 1.0 rad/s	$\alpha = 1.0$ rad/seg²

El torque total requerido es de $T_{total} = 56$ kgf-cm.= 5.4 N-m

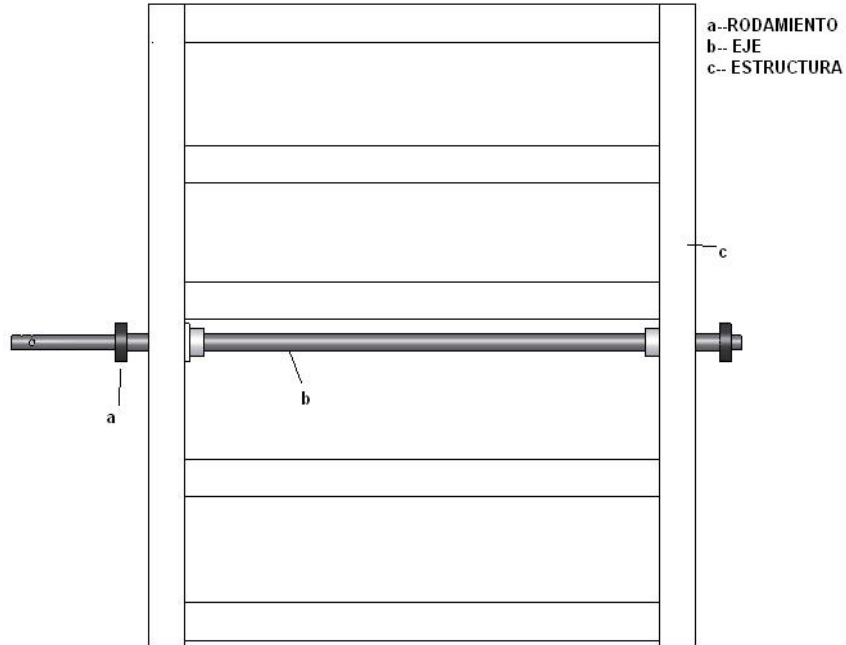
Las fuerzas y momentos sobre el eje, se resumen en el cuadro siguiente:

Cuadro 10. Cargas aplicadas sobre el eje de pivote

Cargas	Magnitud	Unidades
Fuerzas flexión	32	kgf
Torque	56	kgf - cm.

El eje a diseñar tiene la siguiente forma mostrada en la figura 15

Figura 8. Eje principal del portabanderas



Cuadro 11. Diámetro del eje

CALCULO DIÁMETRO DE EJE	$d := \left[\left[\left(Kf \cdot \frac{M}{Sn} \right)^2 + \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{Tm}{Su} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot 32 \cdot \frac{N}{\Pi} \right]^{\frac{1}{3}}$		
	<i>M</i>	<i>Momento resultante</i>	64.24 Kgf – cm.
	<i>Sn</i>	<i>Acero 1045 Laminado en caliente</i>	1998 kgf/cm ²
	<i>Tm</i>	<i>torque medio</i>	56 kgf – cm.
	<i>Su</i>	<i>resistencia ultima</i>	6000 kgf/cm ²
	<i>Kf</i>	<i>concentrador de esfuerzos</i>	1.8
DIÁMETRO DE EJE = 12 mm			

➤ **Selección de los rodamientos.** Para seleccionar los rodamientos se deben cumplir los siguientes requerimientos

- ◆ Carga estática radial a soportar es de 16 Kg., la carga estática axial es cero.
- ◆ La duración en horas de funcionamiento es de 800h, esta es una recomendación para equipos de uso poco frecuente.
- ◆ La velocidad de operación es de 10 r.p.m.
- ◆ Diámetro de eje para alojar el rodamiento es de 10 mm – calculo anterior -
- ◆ Diámetro externo máximo es de 26 mm debido a las restricciones de espacio, mayores diámetros no permiten introducir las bandejas en su lugar.
- ◆ No se utilizaran obturadores laterales ni anillo elástico de retención ya que las exigencias en cuanto a lubricación son mínimas por la baja velocidad de operación.

Dentro del catalogo, tenemos varios rodamientos que cumplen con las condiciones anteriores, así tenemos entre las mejores opciones.

Rodamiento 61800, 61900, 6000, las características importantes se resumen a continuación:

Cuadro 12. Rodamientos

	Diámetro externo	Diámetro interno	Capacidad carga dinámica	Capacidad carga estática	Carga limite fatiga	Velocidad referencia
	D	d	C	Co	Pu	V
6000	26	10	4,75	1,96	0,083	67000
61800	19	10	1,38	0,585	0,025	80000
61900	22	10	2,08	0,85	0,036	75000

Por facilidad de adquisición y precio se ha decidido escoger el rodamiento 6000

➤ **Calculo de los prisioneros.** El diámetro y material de los prisioneros que se seleccionen así como la cantidad está determinado por:

- Los prisioneros deben soportar el esfuerzo cortante y de aplastamiento generado por los 56 kgf -cm. del torque estable mas torque arranque.
- Para diámetro de eje de 10 mm se recomienda un diámetro de tornillo de 4 mm y una profundidad máxima en el eje de 2.5 – 3.0 mm.

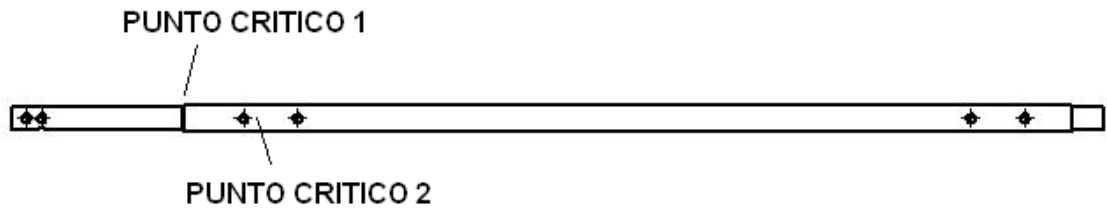
De acuerdo a esto las características de los prisioneros seleccionados se muestran en el cuadro:

Cuadro 13. Características prisioneros

Características	Cantidad	Unidades
Diámetro	4	mm
Longitud	6	mm
Cantidad	4	
Material	Acero 1010 laminado caliente	
Paso	Fino	
Cabeza	Bristol	

➤ **Comprobación de los esfuerzos en los puntos críticos.** Los puntos críticos en este montaje están presentes en el cambio de sección del rodamiento izquierdo y en el agujero donde se coloca el prisionero; así:

Gráfica 1. Punto crítico



Verificando el punto crítico 1

T = 56 kgf – cm. Momento torsor

M = 64 kgf – cm Momento flector

V = 16 kgf Fuerza Cortante

Material del eje = Acero 1045 laminado en caliente

Su = 6000 Kg/cm²

Sy = 2500 Kg/cm²

Sn' = 0.5Su = 3000 Kg/cm²

De acuerdo al criterio de diseño de Mises Goodman para el diseño del eje por fatiga, utilizamos la siguiente formula.

$$\frac{1}{N} := \left[\left(\frac{\sigma_m}{S_u} + K_f \cdot \frac{\sigma_a}{S_n} \right)^2 + 3 \left(\left(\frac{\tau_m}{S_u} + K_{fs} \cdot \frac{\tau_a}{S_n} \right) \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

Calculo de la resistencia a la fatiga del eje

$$S_n = C_l * C_d * C_s * C_c * C_t * C_v * S_n'$$

Cuadro 14. Factores afectan resistencia fatiga

C _l factor de carga	0,95	C _c factor confiabilidad	0,814
C _d factor de tamaño	0,92	C _t factor de temperatura	1
C _s factor de acabado superficial	0,88	C _v factor de medio ambiente	1

De acuerdo a estos valores

$$S_n = 1878 \text{Kg./cm}^2$$

Calculo de los esfuerzos en el eje

$$\sigma_a = 32 M / \pi * d^3 = 651 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\tau_m = \tau_a = 16 T / \pi * d^3 = 285 \text{ Kg/cm}^2$$

Calculo de los concentradores de esfuerzo

Los valores de K_t y sensibilidad a la entalla (q) se obtienen de los libros de diseño. K_f se obtiene de la siguiente formula $K_f = 1 + (K_t - 1) * q$

Cuadro 15. Sensibilidad a la entalla

K_t	2,25		q	0,56		K_f	1,7
K_{ts}	1,8		q_s	0,62		K_{fs}	1,5

Reemplazando los valores anteriores en la formula de fatiga se obtiene para este punto

$$N_1 = 2.05$$

La verificación del punto crítico 2 sigue los mismos pasos aquí presentados; el factor de seguridad así calculado es de

$$N_2 = 2.1$$

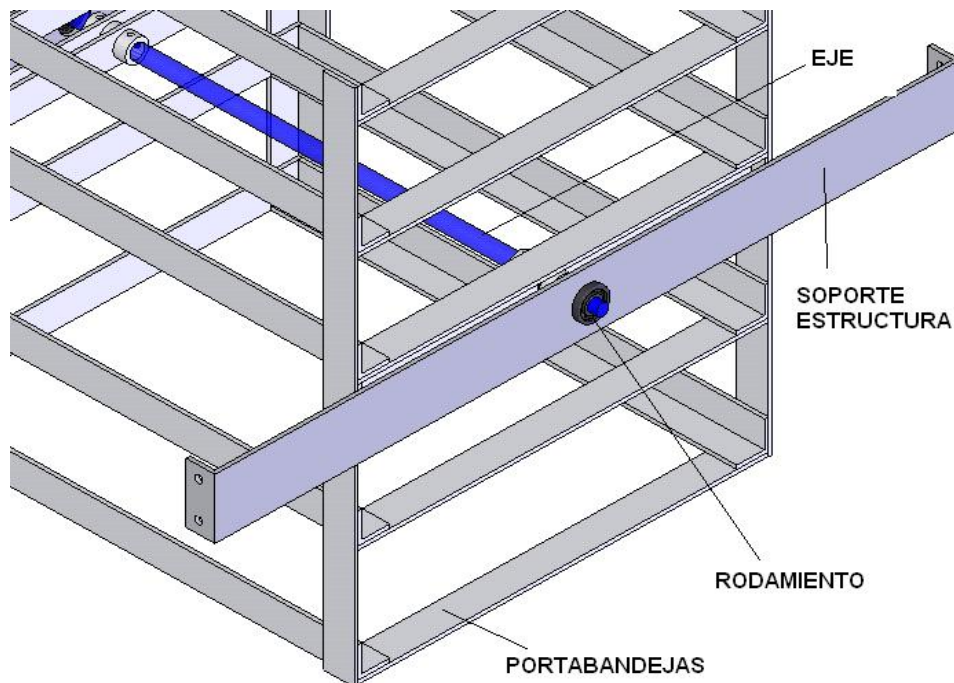
Las dimensiones del eje se encuentran en el plano I 00 – 07

➤ **Soporte estructura.** Los soportes, mostrados en la figura 10, son elementos estructurales que ayudan a darle rigidez al cuarto de incubación

evitando que se pandee y soportan el peso de los huevos, las bandejas y el portabandejas; los soportes son el punto de apoyo del eje del portabandejas y alojan en su interior un rodamiento con el fin de hacer el movimiento de la estructura más suave.

En la siguiente figura se muestra en detalle el montaje de los soportes, el eje de pivote y el portabandejas.

Figura 9. Montaje de los soportes de los portabandejas



El soporte está construido en platina espesor 3/16" y ancho 1,5" con el objetivo de lograr alojar el rodamiento en su interior, cuyo diámetro exterior es de 26mm, el soporte se sujeta al cuarto por medio de cuatro tornillos, dos a cada lado. En el equipo se montan dos soportes, uno en cada extremo del eje montado este sobre los rodamientos.

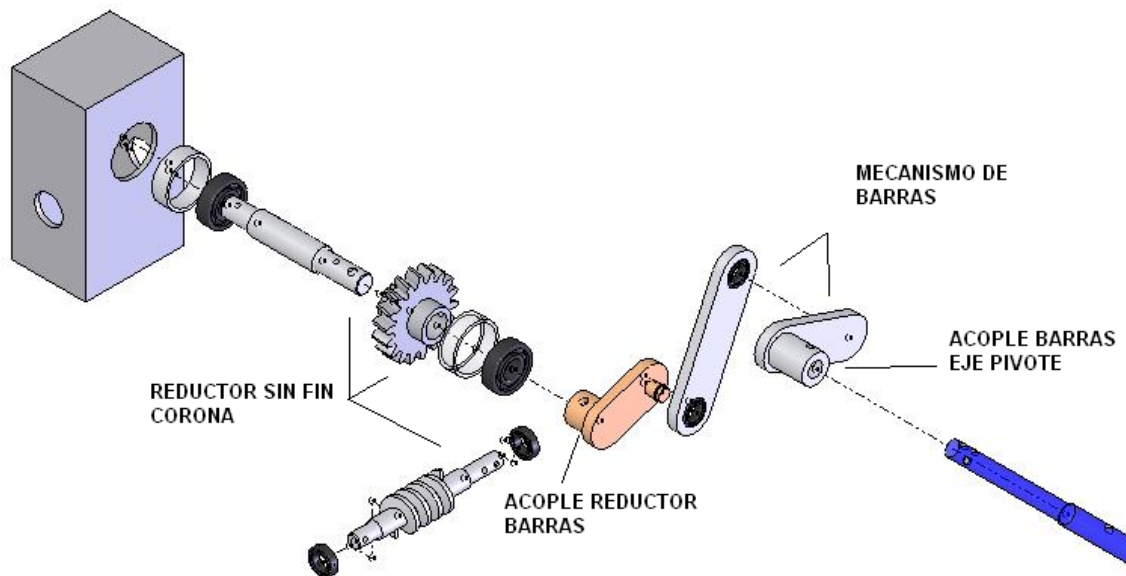
3.1.2 Transmisión de potencia. La transmisión de potencia se refiere a todos aquellos elementos mecánicos que transmiten la potencia desde el motor eléctrico hasta la estructura portahuevos, permitiendo que esta oscile los 45° requeridos para el buen funcionamiento del equipo, venciendo las fuerzas inerciales y suministrando el torque requerido para girar los 210 huevos.

La transmisión de potencia se compone de dos dispositivos enlistados a continuación:

- ◆ Mecanismo de barras
- ◆ Reductor sin fin corona

En la figura siguiente se muestra el despiece de las partes que constituyen la transición de potencia.

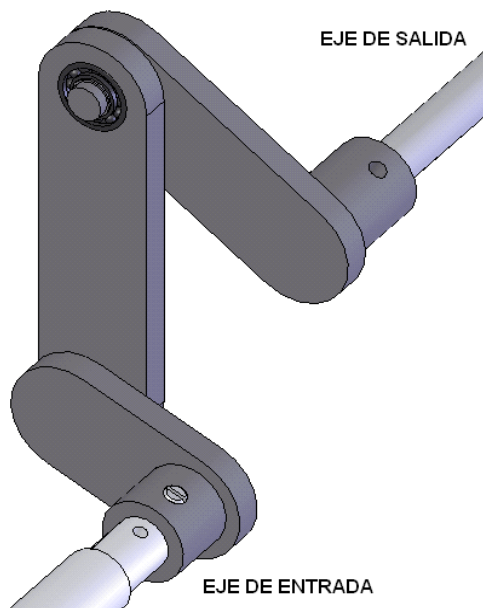
Figura 10. Partes del mecanismo de volteo



➤ Mecanismo de barras. El mecanismo de barras se utiliza para transformar el movimiento rotacional del motor en oscilante del portabandejas con un ángulo de recorrido de 90°; el mecanismo es cuadrilátero articulado Grashof, conformado por manivela, biela, balancín, en el cual una de las barras gira una vuelta completa permitiendo que las otras dos oscilen un ángulo determinado. Este mecanismo a su vez permite hacer girar la estructura en cualquier dirección sin necesidad de invertir el sentido de giro de movimiento del motor.

La manivela va unida por medio de tornillos prisioneros al eje de salida del reductor al igual que el balancín –último eslabón de la cadena cinemática – va unido al eje del portabandejas. Los diversos eslabones del mecanismo se unen por medio de ejes y soportados por rodamientos con el fin de permitir un movimiento más suave y darle la rigidez suficiente. Las barras se construyeron en lamina HR de ¼” de espesor. La figura muestra el conjunto total montado.

Figura 11. Mecanismo de barras para el volteo



Para el diseño del mecanismo de barras es importante definir los requerimientos que dicho mecanismo debe cumplir cuando esté en funcionamiento, estos se resumen así:

- El mecanismo de barras debe realizar la conversión del movimiento circular del motor en movimiento oscilante del portabandejas.
- Las barras deben soportar las cargas a las cuales está sometido.
- El mecanismo debe permitir el ajuste forzado entre el reductor sin fin corona y el eje de pivote.
- El movimiento debe ser suave y silencioso.
- El espacio máximo disponible para ubicar el mecanismo es de 8 cm., definida esta como la distancia entre los puntos extremos, con el fin de tener el espacio suficiente para colocar el motor – reductor.
- En el punto de movimiento relativo entre las barras se colocara un rodamiento – en total dos – con el objetivo de darle suavidad al movimiento. Por tanto el espesor y el ancho de cada barra debe ser suficiente para poder alojar un rodamiento en su interior. El espesor mínimo debe ser de 3/16” y el ancho mínimo de 1”
- El mecanismo debe tener ventaja mecánica aumentando el torque y reduciendo la velocidad.

De acuerdo a estos requerimientos el siguiente cuadro describe las características principales de los componentes del mecanismo de barras, dimensiones y material.

Cuadro 16. Características de mecanismo barras

Manivela	Longitud	3.0	cm.
	Espesor	3/16	in
	Ancho	1	in
Biela	Longitud	7.5	cm.
	Espesor	3/16	in
	Ancho	1	in
Balancín	Longitud	5.0	cm.
	Espesor	3/16	in
	Ancho	1	in

De acuerdo a la relación de longitud entre las barras es importante tener presente la relación de reducción de velocidad y aumento del torque entre la entrada y la salida del mecanismo, como se aprecia en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Relaciones de de reducción del mecanismos

	Valor	Dimensiones
Longitud de la balancín	5.0	Cm.
Longitud de la manivela	3.0	Cm.
Relación de reducción	1.6	
Torque salida	56	kgf – cm.
Torque entrada	35	kgf – cm.

Luego el torque aplicado en la manivela debe ser de $T = 35 \text{ kgf} - \text{cm.}$

Reductor sin fin corona. El reductor de velocidad se hace indispensable ya que la velocidad del sistema portahuevos debe ser muy lenta, -alrededor de 0.2 r.p.m – 0.5 r.p.m⁴- y los motores comerciales giran a velocidades mucho mayores, siendo indispensable un reductor de velocidad que permita una relación de reducción grande en un espacio pequeño. Por tal razón se diseño y construyo un reductor sinfín corona el cual recibe la potencia del motor, reduciendo la velocidad y aumentando el torque de salida, a expensas de cierta pérdida de energía en fricción, lo que disminuye la eficiencia de la transmisión; el mecanismo diseñado tiene un factor de reducción de 18:1, y por ser el tornillo de una sola entrada es auto- bloqueo es decir la potencia cuando entra por el tornillo es transmitida hacia la corona y de ahí al mecanismo de barras, pero cuando el movimiento entra por la rueda este se bloquea y no permite moverse de esa posición, esta característica del reductor, autobloqueante evita la volcadura de la estructura portahuevos, propiciada por su propio peso y el de los huevos.

El reductor sinfín corona el tornillo es de una entrada y la corona tiene 18 dientes, la corona está montada sobre un eje mecanizado independiente y la transmisión de potencia es a través de tornillos prisioneros. Los ejes y el tornillo se mecanizan en Acero al carbono 1045 y la corona se mecaniza en fundición gris. La estructura del reductor se fabrico con lamina HR de 3/16” y se unió con soldadura de arco eléctrico.

A continuación se muestra dos imágenes del montaje final del reductor sobre el bastidor y una vista en detalle de sus componentes

⁴ The poultry research centre . Investigación de protocolos de volteo (octubre 23, 2006). extraído del 12 de enero del 2008 desde <http://www.prc.afns.ualberta.ca/>

Figura 12. Reductor sobre el bastidor

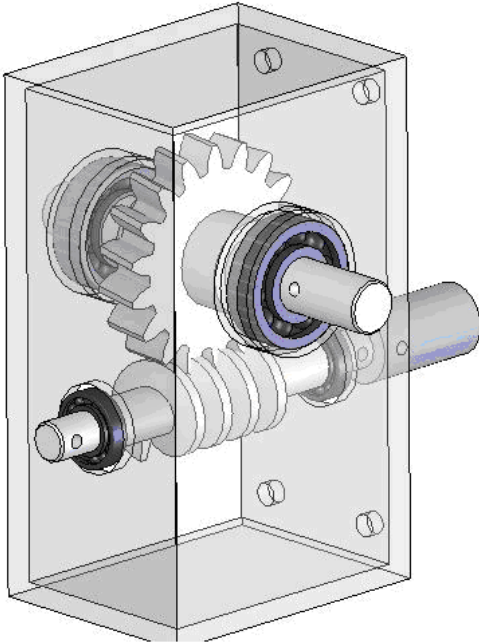
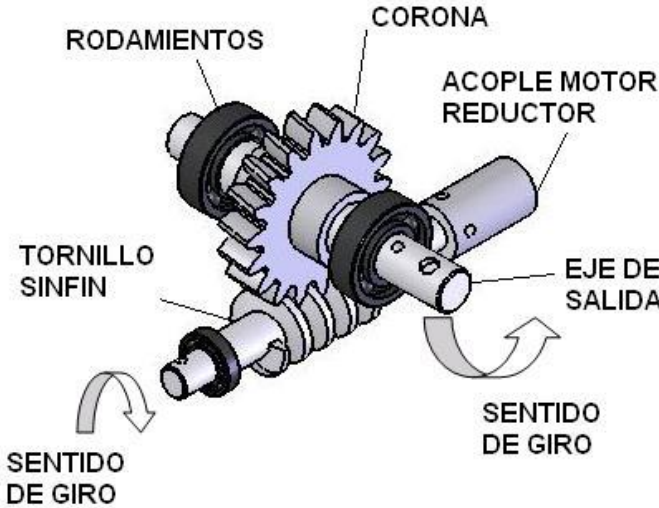


Figura 13. Detalles del reductor



Para el diseño del sin fin corona es importante definir unas exigencias que se le imponen al equipo cuando esté en funcionamiento y que deben estar presentes en el diseño del mismo.

- ◆ El sin fin corona debe ser autobloqueante, por lo tanto el tornillo sin fin debe ser de una entrada
- ◆ La relación de velocidades debe ser la mínima posible que garantice la excelente operación del reductor, para este caso que el tornillo tiene una entrada y la corona debe tener mínimo 18 dientes para evitar el backlash, será de 18:1
- ◆ Tamaño conjunto sin fin corona no debe exceder los 12 cm. de alto con el objetivo de tener el espacio suficiente para alojarlo en la parte trasera del equipo.
- ◆ La distancia entre centros es de 3.0 cm.
- ◆ El paso axial del tornillo y el modulo de la corona deben ser estándar.
- ◆ Debido a la baja velocidad y a la poca frecuencia de uso el reductor debe lubricarse con grasa y no con aceite, debido a su baja viscosidad.

El diseño del sin fin corona implica cumplir dos requisitos fundamentales, que cumpla los requerimientos para los cuales se diseña, velocidades y torque de entrada y salida, -diseño cinemático- así como que soporte los esfuerzos a los que está sometido durante su operación normal – análisis de esfuerzos-.

Diseño cinemático. El diseño cinemático consta de proponer y solucionar las características físicas que debe tener el reductor sin fin corona, entre las cuales se tienen, número de entradas del tornillo, número de dientes corona, distancia entre centros, modulo de la corona, paso axial del tornillo, ángulo de hélice del tornillo, entre las más importantes.

- ◆ Tornillo = 1 entrada (autobloqueante)

- ◆ Distancia entre centros (C) \approx 30 mm
- ◆ Numero de dientes corona (Zc)= 18 dientes.

Nota:

En el siguiente proceso de solución se utilizaran los subíndices c, para indicar la corona y t para indicar el tornillo. Zc = 18 diente

Cuadro 18. Características físicas reductor sinfín corona

Zt = 1 entrada C= 30 mm i = 18 Relación de velocidades (Zc/Zt)			
Diámetro primitivo del tornillo	$Dt = K (C)^{0.875}$ (0.5<K<0.9) K = 0.7	Dt=13.8 mm	
Diámetro de la corona	$C = (Dc + Dt) / 2$	Dc = 46 mm	
Angulo de hélice del tornillo (λ)	$2C = Dt (1 + i \tan \lambda)$	$\lambda = 10.34$	
Paso axial de tornillo	$Pa = (\pi Dc) / Zc$	Pa = 8.023 mm	Pa = 5/16" Pa = 7.9375 mm
Modulo de la corona	$m = (Pa \cos \lambda) / \pi$	m = 2.51	m = 2.5
Longitud axial del tornillo	$L := Pa \cdot \left(4.5 + \frac{Zt}{50} \right)$	L = 36 mm	
Ancho de la rueda	$F := \frac{C^{0.875}}{2.2}$	F = 10 mm	

A continuación se enlistan las características físicas del reductor sin fin corona:

Cuadro 19. Descripción del reductor sin fin corona

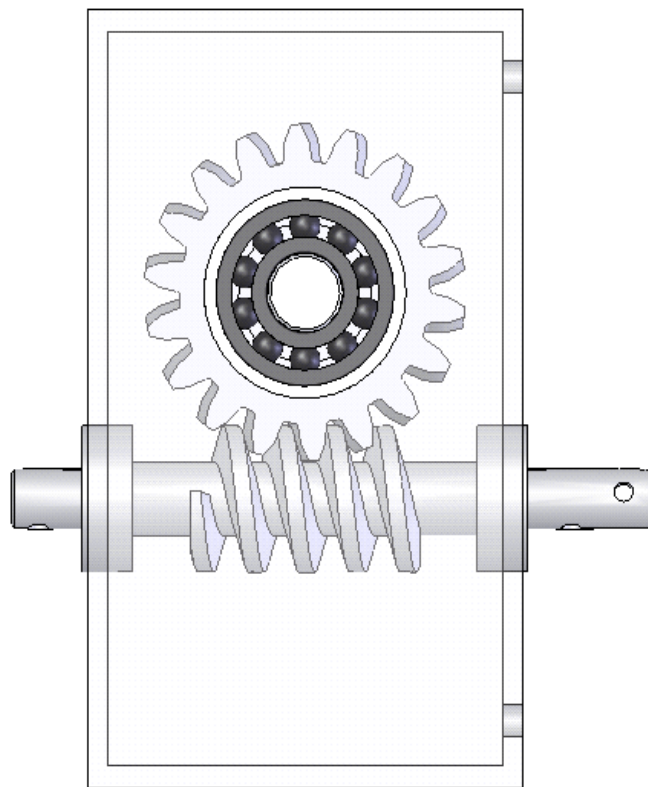
Propiedad	Cantidad	Unidades
Relación de velocidades	18	
Numero dientes corona	18	
Numero entradas tornillo	1	
Distancia entre centros	30.87	mm
Modulo corona	2.5	mm
Paso axial tornillo	5/16"	in
Angulo de hélice	8.319	grados
Diámetro tornillo	17	mm
Diámetro corona	44.74	mm
Angulo presión	14.5	grados
Longitud roscada tornillo	36	mm
Ancho corona	10	mm

Características de montaje. De acuerdo a las recomendaciones de montaje dadas por los fabricantes, se dispone el tornillo debajo de la rueda, ya que el lubricante –grasa o aceite- debido a la gravedad tiende a bajar hacia el depósito inferior; realizando el montaje de esta manera el punto de contacto entre las dos partes esta mucho más abajo y por ende garantizamos mayor cantidad de lubricante en el punto de trabajo.

Además debido al trabajo intermitente en el funcionamiento del sistema se recomienda la lubricación con grasa debido a que esta sufre menos debido a la gravedad, evitándose depósitos y escurrimiento del lubricante, como se muestra en la figura.

Los materiales con los cuales se mecanizan la corona y el tornillo deben ser de distinta dureza con el fin de que no se destruyan mutuamente; el tornillo se mecaniza en acero al carbono y la corona puede ser mecanizada en bronce o fundición gris. Para nuestro caso y por motivos puramente económicos la corona será mecanizada en fundición gris.

Figura 14. Montaje reductor



Eficiencia de la transmisión. Para el cálculo de la eficiencia de la transmisión calculamos las velocidades de rotación y de deslizamiento del tornillo, así como el coeficiente de fricción, los resultados se muestran en el cuadro.

Cuadro 20. Eficiencia del reductor

Calculo de la eficiencia del reductor			
ω	Velocidad angular tornillo		36 r.p.m.
Vt	Velocidad del tornillo		6.3 ft / min.
Vs	Velocidad de deslizamiento		6.36 ft/min.
μ	coeficiente de fricción		0.147
$\eta = 56 \%$ Eficiencia reductor sin fin corona diseñado			
Características del tornillo sin fin			
Material acero 1045			
<i>Dext</i>	<i>Diámetro externo tornillo</i>	$Dt + 2*a$	22.053
<i>Draiz</i>	<i>Diámetro raíz tornillo</i>	$Dt - 2h$	6.102 mm
<i>h</i>	<i>Altura total del filete</i>	$2.167 * m$	5.4175mm
<i>e</i>	<i>Espesor del filete</i>	$Pa/2$	3.9687 mm
<i>c</i>	<i>Espacio entre filetes</i>	$Pc/2$	3.9687 mm
<i>l</i>	<i>Altura cabeza del filete</i>	<i>m</i>	2.5 mm
<i>Fr</i>	<i>Extremos del tornillo sin rosca</i>	Pa	7.9375 mm
<i>R</i>	<i>Radio de la cabeza del filete</i>	$0.05 * Pa$	0.4 mm
λ	<i>Angulo de hélice</i>		8.319°

El cuadro a continuación muestra las características físicas necesarias para la construcción del tornillo, la corona y el eje de la corona.

Los resultados del análisis de esfuerzos en el tornillo sin fin, y el eje de la corona se enlistan a continuación:

Cuadro 21. Análisis de esfuerzos tornillo sin fin

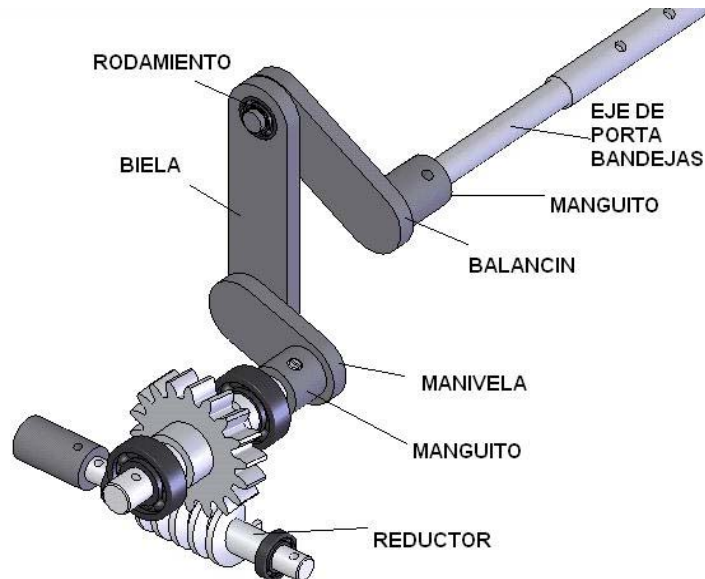
TORNILLO SIN FIN	
Características	Descripción
Material	Acero SAE 1045
Punto critico	Centro del eje
Esfuerzos punto critico	Esfuerzo normal medio = 40.15 Kg./cm ² Esfuerzo normal alternativo = 298 Kg./cm ² Esfuerzo cortante alternativo = 39 Kg./cm ²
Tornillo prisioneros	Diámetro 3 mm Longitud 8 mm Material: Acero 1010 Cabeza Bristol Numero 2
Factor de seguridad	4.7
Rodamientos	618-8 2RS 2Z

Cuadro 22. Análisis de esfuerzos eje corona

EJE DE LA CORONA	
Características	Descripción
Material	Acero SAE 1045
Punto critico	Centro del eje
Esfuerzos punto critico	Esfuerzo normal medio = 7.05 Kg./cm ² Esfuerzo normal alternativo = 92.7 Kg./cm ² Esfuerzo cortante alternativo = 47 Kg./cm ²
Tornillo prisioneros	Diámetro 5 mm Longitud 8 mm Material: Acero 1010 Cabeza Bristol Numero 2
Factor de seguridad	6.95
Rodamientos	6001 2RS 2Z

En la siguiente grafica, se muestra en detalle el montaje del reductor sin fin corona sobre los rodamientos, el acople con el mecanismo de barras y el eje de pivote de la estructura portahuevos.

Figura 15. Montaje reductor sinfin corona sobre los rodamientos



3.1.3 Sistema motriz

Motor eléctrico. El motor suministra la potencia necesaria para mover el sistema que contiene los huevos, evitando que estos permanezcan estáticos durante el periodo de incubación, este motor es eléctrico de corriente alterna de baja velocidad y alto torque, de 5 watios a 4 r.p.m. en el eje de salida.

El motor descansa sobre un soporte que va unido al reductor por medio de 2 tornillos; el motor eléctrico es controlado a través de un temporizador el cual lo acciona cada hora y durante el tiempo necesario para que el portabandejas gire 45°. El sistema de control está programado para realizar esta operación.

Para la selección del motor es importante conocer la velocidad y el torque requerido por el equipo; esto ya se ha calculado con anterioridad, luego se procederá así:

Requerimientos del sistema

Torque = 56 kgf – cm.

Velocidad angular= 2 r.p.m. velocidad máxima de operación

Potencia = 0.001563 CV.

Perdidas en el sistema

Eficiencia transmisión = 47% - Incluyendo eficiencia reductor, eficiencia rodamientos, eficiencia barras-

Características del motor a seleccionar

Potencia = 0.003325 CV

Velocidad angular = 36 r.p.m.

Torque = 6.6 kgf – cm.

De acuerdo a estas características, el motor debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Velocidad de rotación en un rango entre 1 r.p.m a 36 r.p.m

Torque de salida superior a 6.6 kgf - cm

Tamaño reducido de alrededor de 12 – 20 cm

Potencia de salida muy pequeña (alrededor de 2.5w)

Fácil adquisición dentro del mercado

El motor que se adquirió para suplir esta necesidad se consiguió dentro del mercado local a muy bajo costo y se puede adquirir fácilmente en cualquier almacén especializado de la ciudad.

Características:

Potencia = 5w

Velocidad = 4 r.p.m.

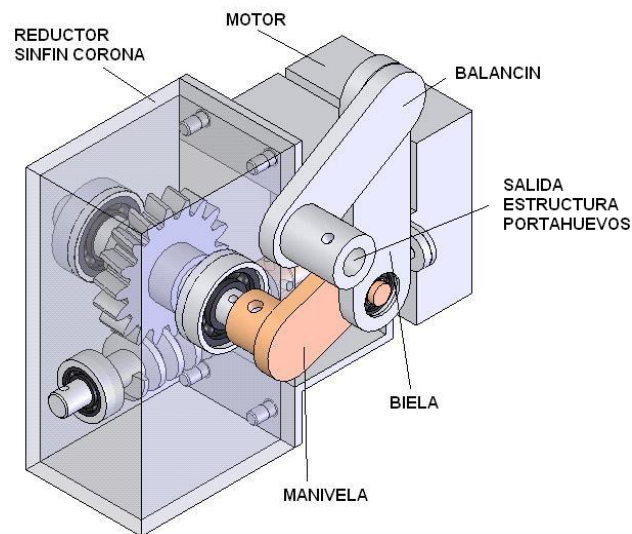
Eficiencia eléctrica y mecánica = 80%

Torque salida = 950 kgf - cm.

De acuerdo a esto se aprecia que el motor esta perfecto para esta aplicación y cumple con los requerimientos deseados.

En la figura continuación se muestra el montaje, del sistema motriz y el reductor de velocidad, en un solo conjunto indicando cada una de sus partes.

Figura 16. Sistema motriz



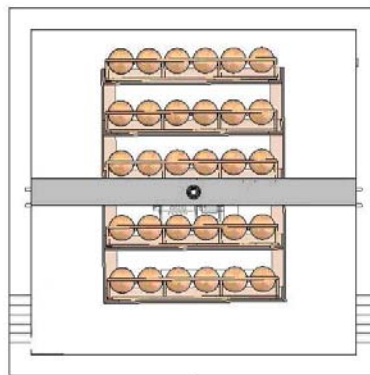
3.1.4 SISTEMA DE CONTROL

Para realizar el movimiento de los huevos se implementaron 2 sistemas de control:

- Sistema de control lazo cerrado: ON-OFF.
- Sistema de control lazo abierto: temporizado.

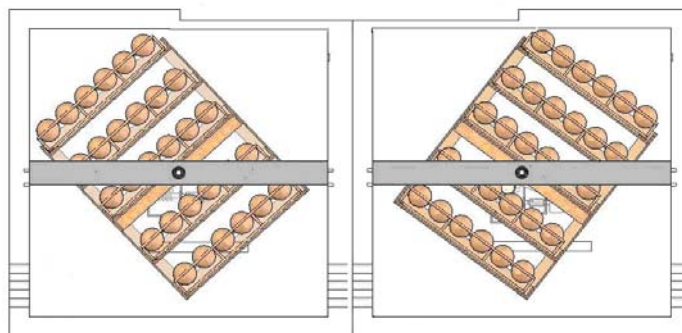
Sistema de control ON-OFF. Es utilizado para colocar el portabandejas en posición horizontal, el sistema de realimentación, el cual indica que se encuentra en el lugar deseado, es por medio del sensor final de carrera. Al encontrarse el sistema en la posición horizontal indicada por el sensor entrega al microcontrolador una señal de 5vol, En caso contrario, el sistema se encuentra en una de las posiciones extremas lo que indica que el sensor no se encuentra activado y por ende el microcontrolador recibirá una señal de 0Vol.

Figura 17. Sistema en Posición horizontal



Sistema de control temporizado. Es utilizado para colocar el portabandejas en una de las posiciones extremas (derecha ó izquierda) esto se logra utilizando un reloj de tiempo real DS1307 de Maxim/Dallas.

Figura 18. Sistema en posiciones extremas

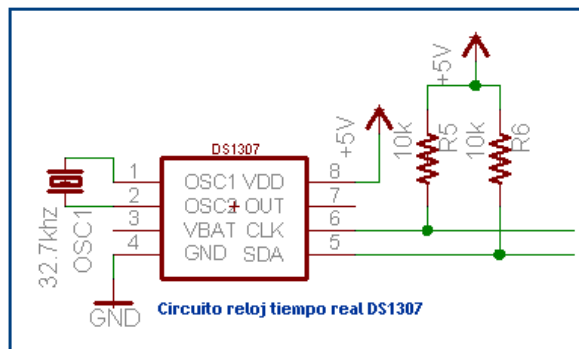


El semiconductor Maxim/Dallas DS1307 es un reloj de tiempo real exacto, el cual automáticamente, mantiene el tiempo y la fecha actual, incluyendo compensación para meses con menos de 31 días y saltos de año.

El DS1307 es un dispositivo de 8 pines al que se le conecta un cristal de cuarzo estándar, de bajo costo, a 32.768kHz entre los pines 1 y 2 para proveer tiempo base exacto. Opcionalmente se le puede conectar al pin3, baterías de respaldo de 3vol, asegurando que se mantendrá el tiempo a la fecha aunque esté desconectada la fuente de tensión del circuito principal. El circuito integrado automáticamente detecta que se ha removido la energía en el circuito principal y se conectan las baterías de respaldo cuando es requerido.

Adicionalmente el circuito integrado DS1307 tiene dos características interesantes. El pin 7 es una salida de colector abierto, que puede ser programada para hacer “flash” cada 1Hz. Esto permite la colocación de un led como indicador de segundos en aplicaciones de reloj.

Figura 19. Circuito reloj tiempo real DS1307



El reloj de tiempo real es una herramienta sumamente útil en los sistemas de microcontrol, por ejemplo en la implementación de aplicaciones como

temporizadores industriales, en los cuales se deben activar o desactivar ciertos dispositivos en ciertas horas, o en los sistemas de control de acceso en los cuales se deben detectar eventos y conocer la hora en la que ocurrieron.

Para este proyecto se desea tomar muestras del comportamiento de las variables cada determinado tiempo, conocer el tiempo en que va el proceso como también controlar el sistema de volteo por un determinado tiempo.

Funcionamiento del sistema. Al registrarse el cambio de hora, indicado por el reloj DS1307, el microcontrolador revisa el estado en el cual se encuentra el final de carrera (0vol ó 5vol), en el caso de encontrarse activado “posición horizontal”, actuara el sistema de control temporizado, lo que realiza es activar el motor durante 1 minuto, tiempo aproximado para que el sistema se encuentre a 45° del horizonte. En el caso contrario, el cual indica que el sistema se encuentra en unas de las posiciones extremas, se activara el motor hasta que se active el final de carrera.

3.2 CUARTO DE INCUBACIÓN

El cuarto de incubación como parte estructural del equipo, permite mantener las condiciones ambientales controladas dentro de un espacio cerrado diseñado para tal fin. En su interior se acomodaran los huevos a incubar y todos los dispositivos requeridos. El material estructural con el cual se construye el cuarto es de lámina galvanizada calibre 20 con el fin de soportar las cargas a las cuales esta solicitado el cuarto, además de evitar la aparición de hongos u otras enfermedades; como la temperatura al interior del recinto es superior a la ambiental, es importante colocar aislante térmico

y así minimizar las pérdidas de energía; en este caso se colocó espuma de poliuretano como aislante.

El cuarto de incubación con el objetivo de cumplir a cabalidad las necesidades del sistema, se divide en dos partes claramente diferenciadas, la primera es el cuarto de incubación como tal y la segunda es la zona de control que es donde ubicamos todos los dispositivos electrónicos, además del depósito de agua y las válvulas de control de paso. El montaje es completamente modular pudiéndose en caso de ser necesaria la separación de las dos partes con el fin de hacer aseo y/o almacenamiento y transporte. El cuarto de incubación es seguramente una de las partes más importantes del equipo, ya que sobre este se montan todos los elementos necesarios en la operación del mismo.

Los requerimientos que debe cumplir un buen diseño del cuarto son:

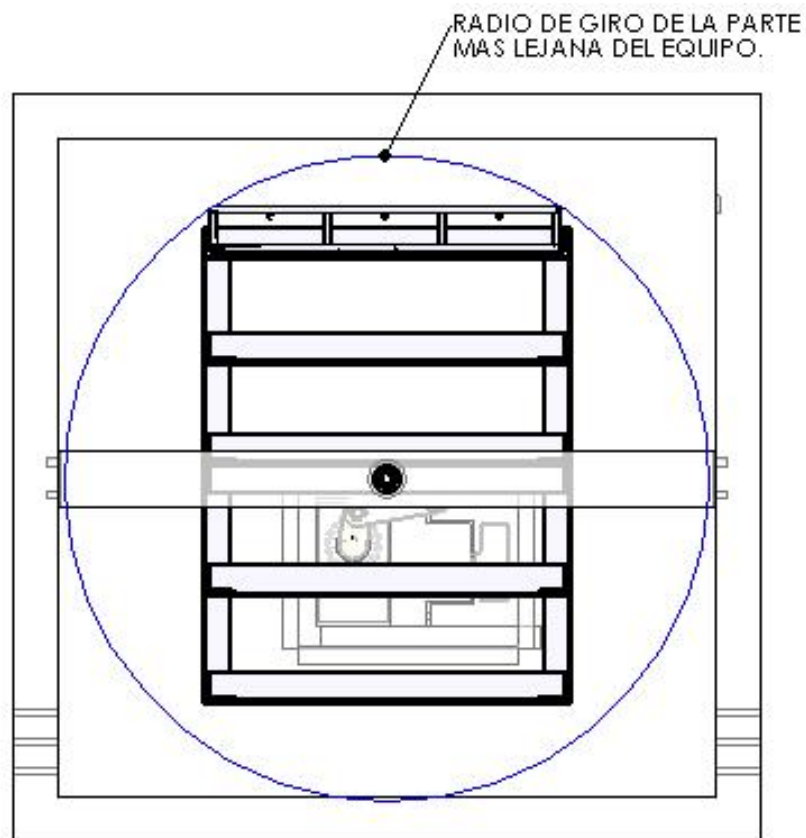
- Tener la rigidez suficiente para soportar la carga a la cual está sometido
- El peso del equipo debe ser lo menor posible.
- Las puertas deben tener cierre hermético con el fin de evitar al máximo la pérdida de energía.
- El material de construcción no debe dañarse con la humedad y permitir la limpieza al interior.
- El diseño debe evitar al máximo las pérdidas de energía, es indispensable un excelente aislante térmico.

Material aislante. El material aislante utilizado en la espuma de poliuretano, por ser este un material de excelentes propiedades físicas y químicas: excelente aislante térmico, impermeable a la humedad, dimensionalmente estable, resistente a la propagación del fuego, larga vida útil y muy liviano.

Material estructural. La incubadora fue construida en lámina galvanizada calibre 20; su construcción fue realizada como pared tipo sándwich en el cual se tienen las dos caras de la lámina en las partes externas y en el interior el material aislante protegido de la intemperie. Las caras del equipo se soldaron con el fin de darle la mayor resistencia posible y la rigidez requerida en el diseño del equipo.

Dimensiones principales. Las dimensiones internas del equipo están dictaminadas por la forma y el espacio requerido durante la operación de los componentes, las dimensiones internas principales se obtienen a partir del siguiente esquema.

Figura 20. Dimensionamiento cuarto incubación



De acuerdo al dibujo anterior las dimensiones principales de la cara interna del equipo deben ser de 60cm x 60cm la profundidad está determinada por el mecanismo de volteo y en este caso es de 48 cm.

- Calculo del espesor de aislamiento.

Para calcular el espesor de aislamiento se realizo el siguiente procedimiento.

Datos conocidos en la operación del equipo.

Temperatura ambiente externa ($T_{\infty 1}$) = 22 °C

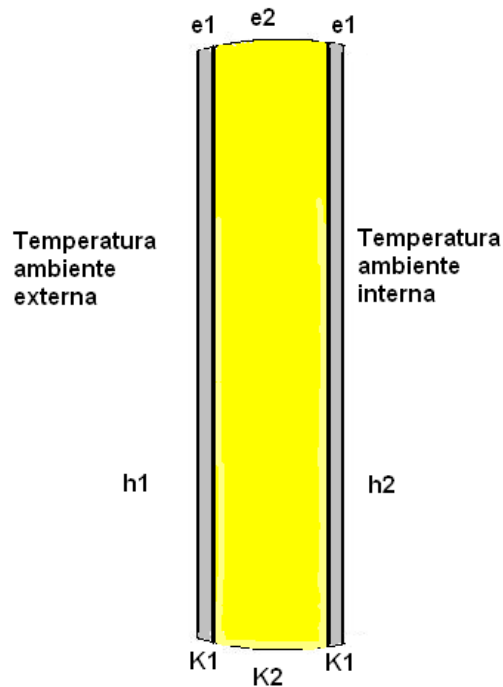
Temperatura ambiente interna ($T_{\infty 2}$) = 37 °C

Dimensiones del equipo = 60 x 60 x 48 cm.

Área de la cara de mayor tamaño (A) = 60 x 60 = 0.36 m²

De acuerdo al montaje que se desea realizar y las condiciones ambientales nombradas tenemos la siguiente figura

Figura 21. Pared de la incubadora



$K1$ = Conductividad térmica lamina acero
 $K2$ = Conductividad térmica espuma poliuretano
 $h1$ = Coeficiente convección ambiente exterior
 $h2$ = Coeficiente convección ambiente interno
 $e1$ = Espesor lamina acero = 1mm
 $e2$ = espesor de aislamiento

La ecuación que relaciona todas estas variables con el calor disipado y el espesor de aislamiento es la siguiente:

$$Q := \frac{T_{\infty 2} - T_{\infty 1}}{R_{eq}}$$

Donde la

Q = Calor disipado

R_{eq} = Resistencia equivalente al flujo de energía.

En nuestro caso la R_{eq} incluye la resistencia por convección en ambas caras y la resistencia por conducción en las tres paredes.

Por tanto la ecuación se escribe así:

$$Q := \frac{T_{\infty 2} - T_{\infty 1}}{\frac{1}{h1 \cdot A} + \frac{e1}{K1 \cdot A} + \frac{e2}{K2 \cdot A} + \frac{e1}{K1 \cdot A} + \frac{1}{h2 \cdot A}}$$

Definiendo los valores de las variables, tenemos:

$T_{\infty 1}$ = Temperatura ambiente externa = 37 °C

$T_{\infty 2}$ = Temperatura ambiente interna = 22 °C

h_1 = Coeficiente convección externo = $10 \text{ w/m}^2\text{°C}$

h_2 = Coeficiente convección interno = $20 \text{ w/m}^2\text{°C}$

e_1 = Espesor lamina acero = $1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$

K_1 = Conductividad térmica acero = 58 w/mK

K_2 = Conductividad térmica espuma poliuretano = 0.021 w/mk

A = Área de una cara lateral = 0.36 m^2

Nota:

Los valores de h_1 y h_2 se han obtenido de los cuadros, para superficies expuestas al aire a baja velocidad. Las conductividades térmicas de los materiales se encuentran en los libros de transferencia de calor.

De acuerdo a estos valores se necesita encontrar el espesor de aislamiento óptimo con el fin de disminuir la pérdida de energía confrontando esto con el precio del aislante.

Cuadro 23. Características de las paredes

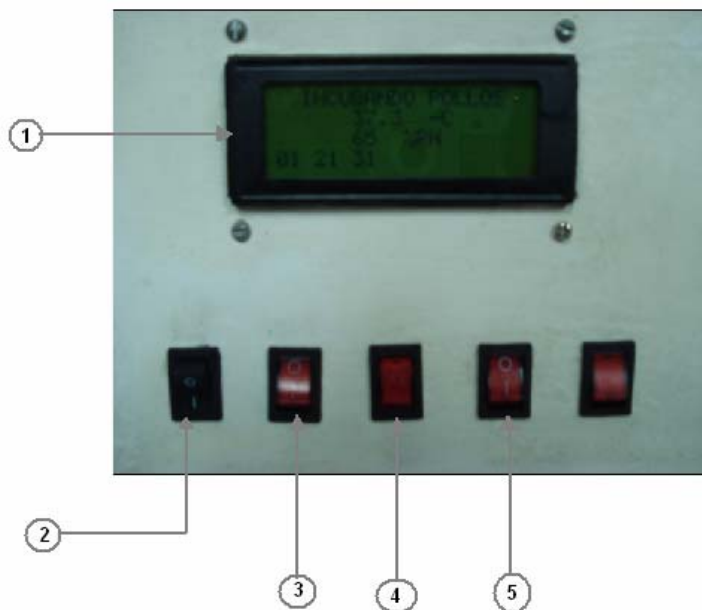
$T_{\infty 1}$	37	°C	
$T_{\infty 2}$	22	°C	
h_1	10	$\text{w/m}^2\text{°C}$	
h_2	20	$\text{w/m}^2\text{°C}$	
e_1	0,001	m	
k_1	58	w/mK	
k_2	0,021	w/mK	
A	0,36	m^2	
e_2 {cm.}	e_2 {m}	Q {W}	Q total {w}
2	0,02	6,48	38,86
3	0,03	4,52	27,14
3,5	0,035	3,93	23,58
4	0,04	3,47	20,85
5	0,05	2,82	16,93
6	0,06	2,37	14,25
7	0,07	2,05	12,30
8	0,08	1,80	10,82

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro y teniendo presente el costo del aislante térmico, la mejor opción es utilizar un espesor de aislamiento de 4 cm. la energía disipada en este caso será de 20w a través de todas las caras sin considerar los desperfectos por construcción y montaje.

Energía perdida a través de las paredes en condiciones estables es 20w

3.2.1 Panel de control. El panel de control está ubicado en la parte superior del equipo y alberga todos los circuitos eléctricos utilizados, así como el depósito de agua y la electro-válvula, los switch de operación del equipo y la pantalla LCD que muestra la temperatura, humedad relativa, y calendario de incubación.

Figura 22. Panel de control



Funciones del panel de control:

1. **LCD:** como se requiere poder mostrar 4 indicaciones se hizo necesario un lcd 4x20 el cual nos proporciona las 4 líneas, en este se puede visualizar el ave que se está incubando, la temperatura y humedad relativa en la cual se encuentra el sistema, y el tiempo que lleva el proceso.

2. **ON-OFF:** este switch es utilizado para encender(1) o apagar(0) la MFI - 01

3. **Volteo:** con este switch el usuario puede en cualquier momento del proceso acomodar el sistema de volteo en la posición que desee.

4. **Iluminación:** ilumina la parte interna de la máquina.

5. **Nacedora:** este botón es utilizado cuando el usuario cree el proceso de incubación está cumplido y que es hora de pasar al proceso de nacimiento, eso hace que cambie las condiciones en la cual se encuentra el sistema, a unas nuevas condiciones ambientales

Temperatura: 37.2°C

Humedad: 80%RH - 85%RH.

3.3 DISPOSITIVO DE CALENTAMIENTO Y HUMIDIFICACIÓN

Los dispositivos de calentamiento y humidificación hacen referencia a todos los equipos, aparatos y componentes que permiten mantener la temperatura al interior del cuarto de incubación, dentro de rango de 37.5 °C y 37.7°C, y la humedad relativa entre 60% - 65% durante el periodo de 21 días que tarda el proceso de incubación.

Es importante aclarar que para lograr mantener constante la temperatura y la humedad relativa dentro de un rango tan estrecho, es indispensable implantar un control continuo de temperatura y humedad el cual garantice mantener las condiciones ambientales en el rango óptimo.

En el cuadro siguiente se enlistan cada uno de los componentes del calentador y humidificador, así como una breve descripción del mismo.

Cuadro 24. Partes sistemas de control temperatura y humedad

	Dispositivo	Elemento	Descripción
Calentamiento	Resistencia eléctrica	Incoloy	200 wattios.
	Ventilador		28 m ³ /hr
	Control de temperatura	Controlador	Control PI
		Sensor electrónico	SHT11
Humidificación	Humidificador	Vapor saturado	
	Control de humedad relativa	Controlador	Control ON/OFF
		Sensor electrónico	SHT11

Para el diseño del dispositivo de calentamiento y humidificación se deben cumplir unos requerimientos mínimos para garantizar la excelente operación del equipo. Dicho requerimientos se enlistan como:

- ◆ Mantener las condiciones ambientales uniformes y constantes al interior del equipo, de temperatura y humedad relativa durante todo el tiempo de incubación.
- ◆ Suministrar la energía y la humedad necesaria para satisfacer las necesidades de los embriones durante su crecimiento.

Para la selección, disposición y puesta a punto del calentador y humidificador es necesario estudiar, todas las causas que generan consumo de energía y humedad dentro del equipo, con el fin cuantificarlas, reducirlas y seleccionar los elementos acordes con esas necesidades.

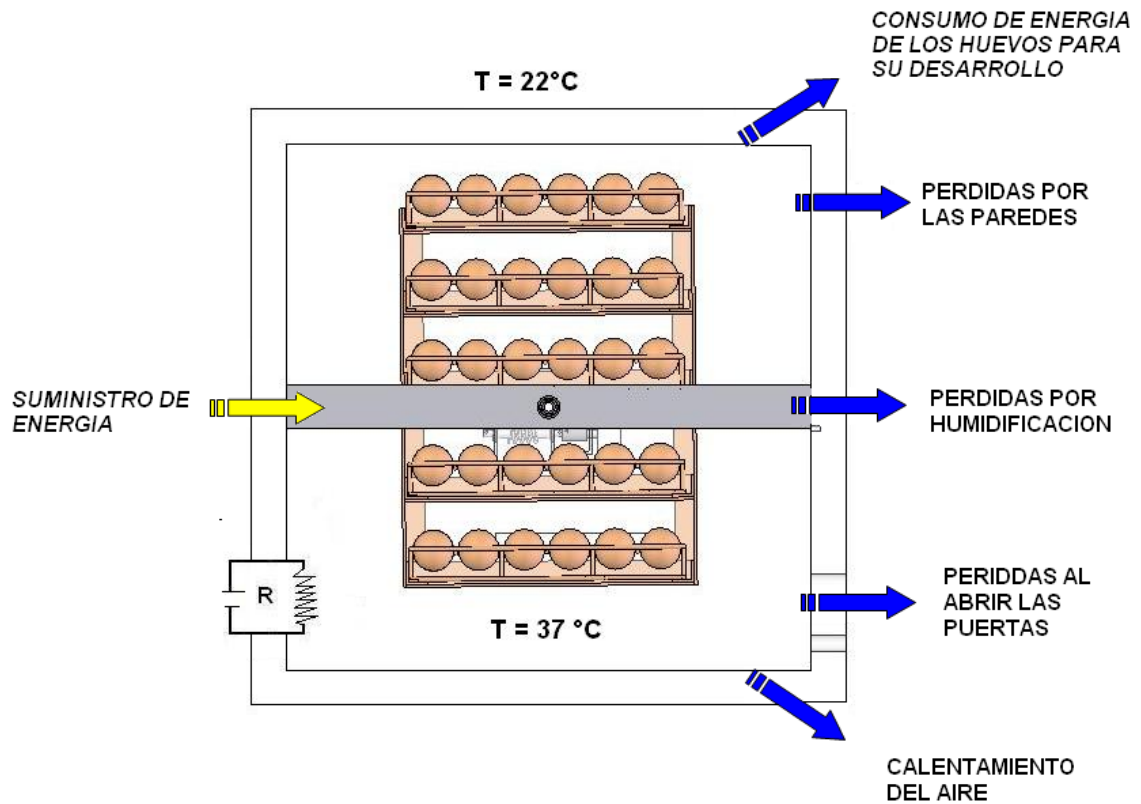
A continuación se ilustra el proceso de diseño y selección de los diversos componentes que incluyen el dispositivo de calentamiento y humidificación del aire al interior de la incubadora.

3.3.1 Diseño y selección del calentador. Para el diseño del calentador se deben tener presentes todas las necesidades energéticas del equipo en operación, así como las pérdidas de energía inmersas en el proceso.

Dichas necesidades energéticas se enumeran:

- Calentar el aire al interior del cuarto desde la temperatura atmosférica ambiental que oscila en los 22 °C hasta la temperatura optima de incubación de 37 °C en un tiempo aproximado de 40 minutos.
- Suministrar la energía requerida por cada huevo para su desarrollo embrionario
- Restaurar la energía perdida durante el proceso,
 - ◆ Energía perdida a través de las paredes
 - ◆ Energía perdida por humidificación
 - ◆ Energía perdida cuando se abren las puertas

Figura 23. Energía requerida en el proceso



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

Energía requerida para calentar el aire de la incubadora:

Las dimensiones del cuarto son 60 cm. x 60 cm. x 48 cm.

Volumen = $60 \times 60 \times 48 = 172.800 \text{ cm}^3 = 0.1728 \text{ m}^3$ de aire en el cuarto

Densidad del aire = 1 kg/m^3

Masa total de aire = 0.1728 Kg. de aire en el cuarto

La temperatura inicial del aire se asume como $T_i = 16^\circ\text{C}$, aunque normalmente es mucho mayor en la ciudad de Bucaramanga, pero por efectos de cálculo se toma este valor.

La temperatura final ya está establecida siendo de $T_2 = 37^\circ\text{C}$

Haciendo un balance de energía al interior del cuarto:

$$Q := m \cdot (T_2 - T_1) \cdot C_v$$

El calor específico a volumen constante para el aire es de $C_v = 0.718 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}$

Reemplazando valores se tiene $Q = 2730 \text{ J}$ esta es la energía total que debe suministrarse para lograr condiciones estables.

Además de acuerdo con la operación del equipo y el propósito para el cual se destina, el calentamiento no debe ser tan brusco, ya que el choque térmico sobre los huevos puede dañarlos, razón por la cual el tiempo total de calentamiento debe ser alrededor de una hora.

Para los cálculos se toma este tiempo de 4 minutos, con el objetivo de tener un cierto rango de confianza sobre los cálculos realizados.

Tiempo total = 240s

Energía total = 2730 J

Potencia a disipar = $(2730\text{J} / 240\text{s}) = 12 \text{ w}$ en el estado transitorio

Calculo de la energía requerida por los huevos. Para el cálculo de la energía requerida por los huevos para el desarrollo del embrión, se realiza un balance de energía, por medio de la primera ley de la termodinámica.

$$Q := m \cdot (T_2 - T_1) \cdot C_v$$

La masa se toma como el peso del total de los huevos dentro del equipo, en total 210, cada huevo pesa 70g, para un total de 14.7 Kg.

La temperatura inicial es de 22 °C y la temperatura final de 37 °C – después de que se ha llegado al estado estable-.

Para el cálculo del Cv (calor específico a volumen constante) del huevo lo aproximamos el Cp(calor específico a presión constante) del agua, de acuerdo los siguientes datos.⁵

La cáscara del huevo cuya masa es aproximadamente el 11% del total del peso del huevo, su porcentaje de agua es de 5%, para un contenido total de 0.55% de agua; la clara del huevo cuya masa es aproximadamente 58% del peso del huevo, su porcentaje de agua es de 88%, para un contenido total de 51% de agua; la yema del huevo cuya masa es aproximadamente 31% del peso del huevo, su porcentaje de agua es de 68%, para un contenido total de 21% de agua. De acuerdo a estos datos el porcentaje de agua en un huevo es de 72.55% del peso total del huevo. Lo cual permite aproximar un huevo a las mismas características del agua, solo para efectos de cálculo.

De acuerdo a esto, el $C_{v_{huevo}} = C_{p_{agua}} = 4.18 \text{ KJ/Kg. } ^\circ\text{C}$

La energía requerida será de 921 KJ de energía.

Además es importante resaltar que el tiempo para que los huevos alcancen la temperatura de 37 °C debe ser lo suficientemente grande para evitar los efectos nocivos de un cambio brusco en temperatura, por lo tanto el tiempo de establecimiento se acepta de 10 – 12 horas hasta alcanzar el estado estable.

$$\text{Potencia requerida} = (921000 \text{ J}/36000\text{s}) = 25.5 \text{ w}$$

⁵ Ciencias para los futuros ciudadanos. El huevo. Extraído del 20 de febrero del 2008 desde <http://www.nuevaalejandria.com/archivos-curriculares/ciencias/nota-011.htm>

Calculo de la energía de perdidas. El cálculo de la energía de pérdidas se realizará en el orden descrito anteriormente.

- ***Energía perdida a través de la paredes***

De acuerdo a la sección anterior, la 3.2.7, allí se calculo la energía perdida a través de las paredes de acuerdo al espesor de aislamiento, tomando estos resultados tenemos:

$$\text{Energía perdidas por paredes} = 20 \text{ w}$$

- ***Energía perdida por humidificación***

La humidificación se logra por medio de vapor saturado producido del cambio de fase de pequeñas gotas de agua que caen sobre la resistencia eléctrica, luego existe un aporte de energía para lograr cambiar de fase el agua, el cual debe ser calculado.

El agua se encuentra en el depósito a una temperatura de 25 °C y para cambiar de fase debe llegar a 100°C a presión atmosférica.

De acuerdo a las pruebas de humidificación cuyos resultados se muestran en los anexos y a los cálculos realizados para el diseño del humidificador, el aporte de agua es de 5ml cada 90s; la energía requerida para el cambio de fase se calcula como:

$$Q := m \cdot \Delta h$$

Donde

m = masa de 5 ml de agua = 5g de agua

$\Delta h = h_2 - h_1$ = cambio de la entalpía del agua = 2258 KJ/Kg

h_1 = entalpía del agua a 18°C y una atmósfera de presión = 417 KJ/Kg

h_2 = entalpía del agua a 100°C y una atmósfera de presión = 2675 KJ/Kg

$$Q = (2258 \text{ KJ/Kg.} \times 0.003 \text{ Kg.}) = 6774 \text{ J}$$

La potencia requerida es de $(6774 \text{ J} / 90\text{s}) = 75\text{w}$

- ***Energía perdida cuando se abren las puertas***

Para el cálculo de la energía pérdida cuando las puertas del equipo se abrían, fue necesaria la experimentación con el objetivo de lograr datos más confiables.

Durante una de las pruebas de calentamiento hechas en el prototipo, la temperatura y la humedad relativa se mantenían en estado estable a 37.8 °C como valor de referencia para la temperatura y 65% para la humedad. En este punto se desconecto la resistencia y las dos puertas fueron abiertas completamente, los datos obtenidos son:

- El tiempo transcurrido para que la temperatura disminuyera desde el punto de referencia 37.7 °C hasta 30 °C fue de 50 – 60 s en promedio para las mediciones
- El tiempo transcurrido para que la temperatura disminuyera desde los 30 °C hasta la temperatura ambiente de 18 °C fue de 1.4 – 1.5 minutos en promedio para las mediciones

De acuerdo a esto la energía que debe el sistema reponer, se calcula como:

Energía total perdida en la incubadora hasta el establecimiento de la temperatura con la atmosférica = 2730 J

El tiempo para que esto ocurriera fue de 50 s, la energía a disipar por la resistencia durante este periodo, es

Tiempo total = 50s

Energía total = 2730 J

Potencia a disipar = 54 w

Potencia perdida cuando se abren las puertas es de $= (2730 \text{ J}/50\text{s}) = 54 \text{ w}$

Selección de la resistencia eléctrica. La resistencia eléctrica como fuente de energía para el calentamiento del cuarto de incubación, suministra la energía en forma de calor al sistema de acuerdo a la corriente que a través de ella está circulando, con el fin de mantener la temperatura en el valor deseado.

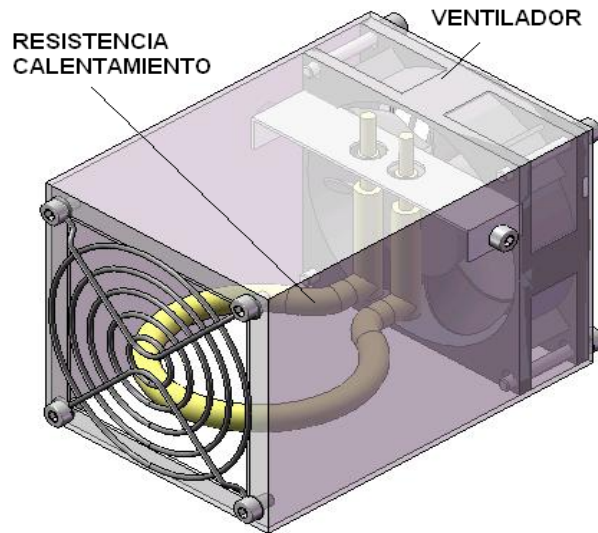
La resistencia a utilizar es una resistencia blindada de Incoloy utilizadas principalmente en calentadores de agua, grecas, generadores para sauna, hornos industriales, maquinas selladoras, etc. de fácil adquisición en el mercado local y de bajo costo. En promedio puede disipar hasta 200w, dependiendo de la corriente que circule a través de ella.

La resistencia se monta en un bastidor aislante y se aprieta por medio de tornillos para una buena fijación.

Se utilizan de acuerdo al modelamiento en Ansys⁶ CFX y al resultado de las pruebas realizadas al prototipo, una resistencia colocada en la parte inferior del equipo. Además se incluye un ventilador que haga circular el aire a través del elemento calefactor, evitando su sobrecalentamiento y homogenizando las condiciones del medio al interior de la incubadora. El elemento calefactor se ilustra en la figura 6.

⁶ Programa de modelamiento térmico y esfuerzos mecánicos

Figura 24. Elemento Calentamiento



De acuerdo a esto, la resistencia a utilizar debe poder disipar la potencia total requerida por el equipo, calculada anteriormente; esta potencia es:

Cuadro 25. Energía requerida en el proceso

CARACTERÍSTICAS	POTENCIA
Potencia requerida para calentar el aire de la incubadora	12 w
Potencia requerida por los huevos	26 w
Potencia perdida a través de la paredes	20 w
Potencia perdida por humidificación	75w
Potencia perdida cuando se abren las puertas	54 w
	187 w

Luego, la resistencia seleccionada es de una potencia de 200w

El sistema de control se encarga de administrar la cantidad de energía liberada dependiendo del estado en que se encuentre, así:

Estado transitorio: de acuerdo al tiempo programado para lograr los 37°C partiendo desde 22°C

Estado estable: manteniendo los 37°C durante los 21 días.

De acuerdo a estos cálculos la capacidad instalada será

Potencia = 200w

Selección del ventilador. El ventilador es al igual que la resistencia un elemento indispensable para el calentamiento del aire al interior del equipo, ya que este renueva las capas de aire adyacentes a la resistencia, evitando el calentamiento excesivo de la misma y su posible daño. Además permite que todo el aire confinado en el equipo se caliente de forma uniforme evitando puntos fríos.

El ventilador en su operación normal envía aire hacia delante, succionándolo de la parte posterior; el aire de salida del ventilador fluye a través de la resistencia, calentándose y distribuyéndose a través de todo el equipo.

Los requerimientos para la selección del ventilador para esta aplicación son:

- ◆ El caudal del ventilador debe mover el volumen total de aire de la incubadora por lo menos 10 veces en una hora
- ◆ La velocidad del aire de salida del ventilador debe ser baja evitando que este actúe como un soplador, ya que movería las capas de aire a alta

velocidad, generando un gran coeficiente de convección y fuerte turbulencia al interior del cuarto.

Para la selección del ventilador se calcula el caudal de aire requerido

$$Q := N \cdot \frac{V}{t}$$

Q = caudal de aire requerido en m³/s

N = número de veces que el aire del equipo debe ser movido = 20

V = volumen de aire incubadora = 60 cm. x 60 cm. x 48 cm. = 0.1728 m³

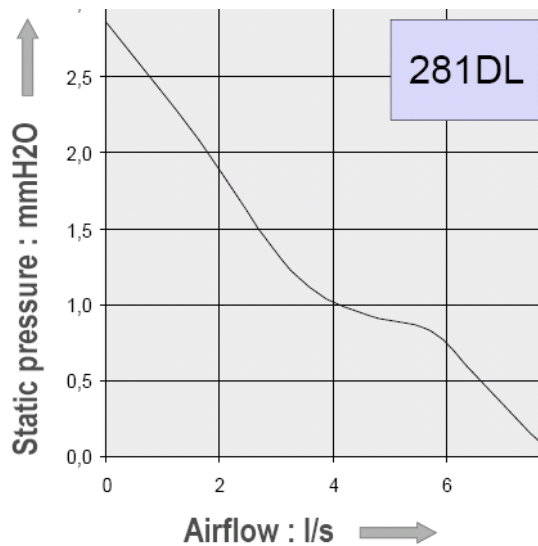
t = tiempo de trabajo ventilador = 1 hora

Realizando los cálculos

El caudal de aire requerido es de 3.456 m³/hr

Dentro de la gama de ventiladores se escogió un ventilador para PC, modelo de 80 x 80 x 25, la grafica correspondiente a este ventilador se muestra a continuación.

Gráfica 2. Ventilador



Las pérdidas por presión se calculan de acuerdo a la geometría del calentador, donde la cabeza de pérdidas, es:

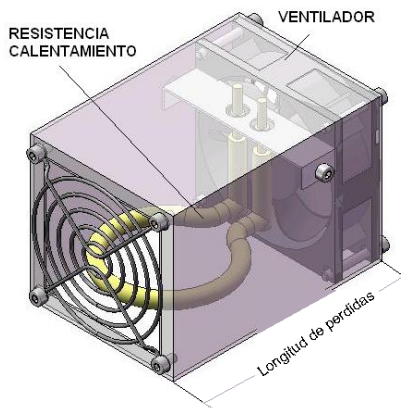
$$P = \rho g h$$

$$\rho = 1 \text{ Kg./m}^3 \text{ Densidad del aire}$$

$$g = 9.8 \text{ m/ s}^2 \text{ Gravedad}$$

$$h = 15 \text{ cm.}, \text{ Longitud del calentador}$$

Figura 25. Partes del generador de calor



Luego, las pérdidas de presión son

$$P = 1.47 \text{ Pa} = 0.15 \text{ mm H}_2\text{O}$$

Este ventilador para estas pérdidas de presión tiene una tasa de flujo de 7 l/s o 25 m³/hr, por lo tanto el ventilador debe temporizarse ya que el flujo de aire es demasiado alto para esta aplicación.

Características del ventilador

$$Q = 7 \text{ lt /s} = 25 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Velocidad} = 2400 \text{ r.p.m.}$$

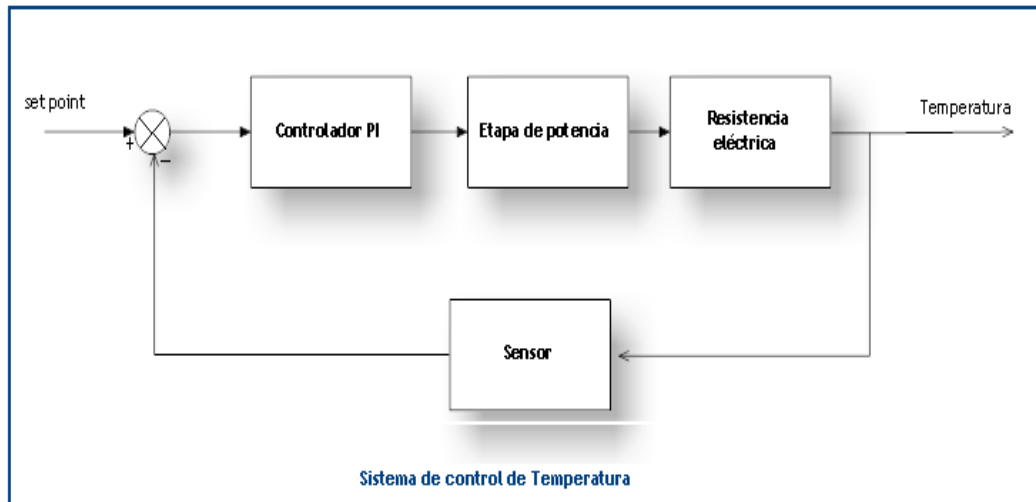
$$\text{Voltaje} = 12\text{v}$$

$$\text{Dimensiones} = 8 \text{ cm.} \times 8 \text{ cm.} \times 2.5 \text{ cm.}$$

Para estas características la velocidad del aire a la salida del ventilador es 1.20 m/s,

SISTEMA DE CONTROL

Figura 26. Sistema de control de temperatura



Para garantizar mayores eficiencias se hace necesario mantener la temperatura a un valor de 37.7 °C, el control de temperatura utilizado fue un PI (proporcional integral) ya que este teóricamente en estado estable presenta cero error. Este sistema se implementó en un microcontrolador HC68HC908GP32 de freescale semiconductor, cuyas características se enuncian a continuación:

Características:

- Procesador de 8 bits optimizado para lenguaje C
- 32 kBytes de memoria flash EEPROM
- 512 bytes de RAM

- Modos de bajo consumo
- Oscilador de 32KHz con PLL incluido
- 8 canales de conversión análogo digital (ADC)
- Puertos serie SCI (serial communication interface), SPI (serial peripheral interface), master slave.
- 2 timer de 16 bits
- Salida de comparación y entrada de captura
- Chip de 40 pines
- Voltaje de operación 2.5-5.5 Vol.

Este microcontrolador toma la señal proveniente del sensor SHT 11 de sensirion⁷ y la compara con la señal de referencia, señal a la cual se desea que se encuentre el sistema, la diferencia es pasada por una serie de formulas matemáticas que describen el control PI cuyo salida del sistema es en forma de una señal de PWM (modulación por ancho de pulso) que actúa directamente proporcional a tal diferencia.

El controlador digital “PI” esta representado por una ecuación en estado z, la cual esta determinada por la siguiente igualdad:

$$PI = K_p + \frac{K_i}{1 - z^{-1}}$$

En la figura 27 se observa que el bloque PI tiene como entrada a X(Z) y como salida a Y(Z), por lo tanto es posible obtener su función de transferencia.

⁷ Karol Armando G. y Luis Enyerlook F. (2007). Diseño y construcción de un prototipo para medición y detección de humedad relativa, Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander.

$$\frac{Y(Z)}{X(Z)} = K_p + \frac{K_i}{1-z^{-1}}$$

Podemos resolver la ecuación buscando obtener una ecuación en diferencias.

$$\begin{aligned} \frac{Y(Z)}{X(Z)} &= \frac{K_p(1-z^{-1}) + K_i}{1-z^{-1}} \\ Y(Z)(1-z^{-1}) &= X(Z)[K_p(1-z^{-1}) + K_i] = \\ Y(Z) - Y(Z)z^{-1} &= X(Z)(K_p + K_i) - X(Z)z^{-1} = \end{aligned}$$

Transformando la ecuación en términos de "Z" a una ecuación en diferencias tenemos la siguiente ecuación:

$$y(n) - y(n-1) = (k_p + k_i) * x(n) - k_p * x(n-1)$$

Despejamos a y(n) y se obtiene finalmente la ecuación del controlador digital PI en su forma en diferencias.

$$y(n) = (k_p + k_i) * x(n) + y(n-1) - k_p * x(n-1)$$

Donde:

K_p = factor proporcional

K_i = Factor integral

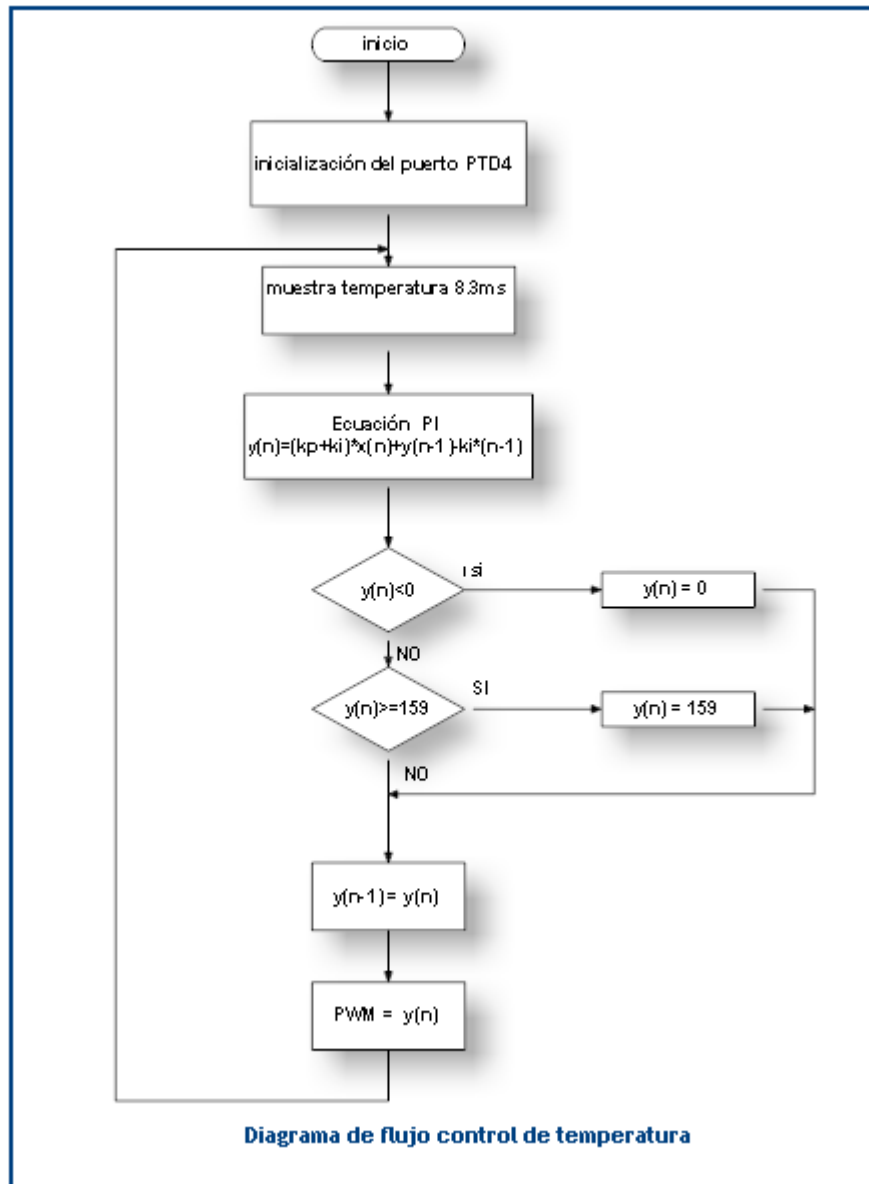
$X(n)$ = Señal de error

$X(n-1)$ = Señal de error muestra anterior.

$Y(n)$ = Salida.

$Y(n-1)$ = Salida una muestra anterior.

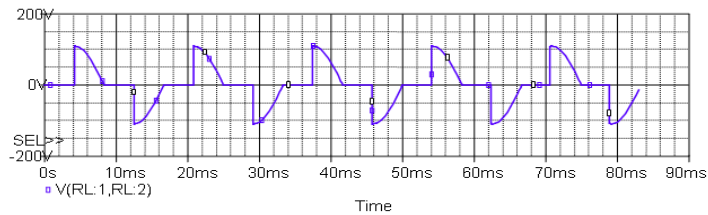
Figura 27. Diagrama de flujo control de temperatura



Como que se pretende es controlar la potencia suministrada a la resistencia calefactora, esto se logra controlando el paso de corriente un tiempo determinado en cada ciclo de la onda, es decir, controlamos los ángulos de

disparos de la onda de 120VOL_{RMS} , para esto utilizamos la señal PWM que controla la onda.

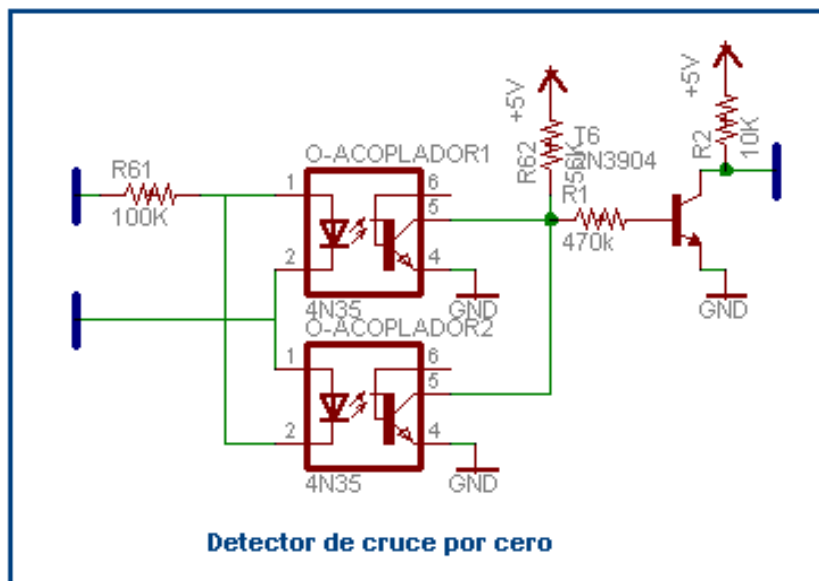
Figura 28. Señal alterna controlada



Para ejercer un buen control del sistema, la señal de PWM se sincronizo con la señal que se desea controlar, y para esto se tomo como referencia el tiempo en el cual esta cruza por cero.

- Detector de cruce por cero:

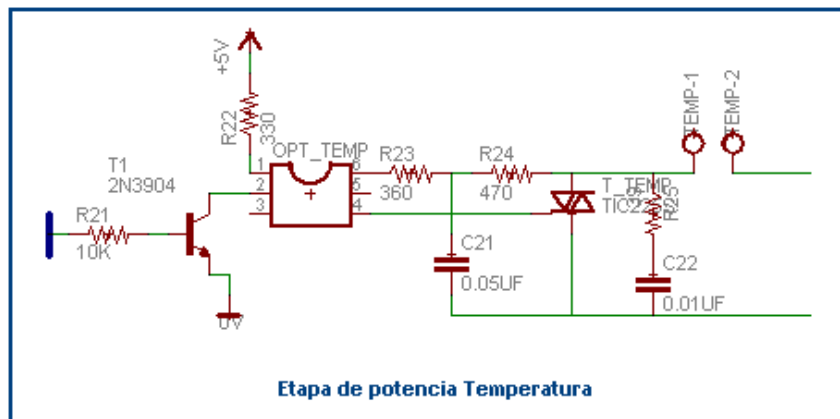
Figura 29. Circuito detector de cruce por cero



Para saber el instante en que la señal cruza por cero se utilizó un circuito detector de cruce por cero conformado por dos octoacopladores 4N35 seguido de un amplificador inversor formado por un transistor 2N3904 actuando como emisor común. En su base se encuentra una resistencia de 470KΩ, la salida del circuito ira a la entrada del microcontrolador por el puerto IRQ, siempre que la señal cruce por cero abra un cambio de alto (5vol) a bajo (0vol).

- Etapa de potencia

Figura 30. Circuito etapa de potencia temperatura



La señal de PWM del microcontrolador HC68HC908GP32 de freescale semiconductor es conectada a la base del transistor 2N3904 conectado en configuración de emisor común el cual hace que active o desactive el triac BT136 donde está a su vez permitirá el paso de corriente por la resistencia calefactora en los tiempos deseados, debido a que se controlan altas señales de potencias con pequeñas señales se utilizó un optotriac moc3021 para aislar eléctricamente las dos señales

Circuito de protección. Este proceso lo mas importante es poder mantener la temperatura al valor ideal mas optimo, puede ocurrir que nuestro sistema de realimentación (sensor sht11) sufra averías o se descompense en donde se hace necesario la actuación de un sistema que actué cuando ocurra ciertas irregularidades.

El sistema de protección actúa en el caso de un aumento más de 39°C haciendo que el sistema se desconecte y actué una alarma indicando que el sistema este fallando.

La señal del sistema es tomada por el sensor de temperatura termocupla tipo K, la señal es tomada y enviada al microcontrolador que al leer valores mayores que 39°C enviara una señal (5 volt) al circuito de protección activando un relé, normalmente cerrado, que hace que corte todo el suministro de energía que se le entrega al sistema.

Figura 31. Circuito de protección

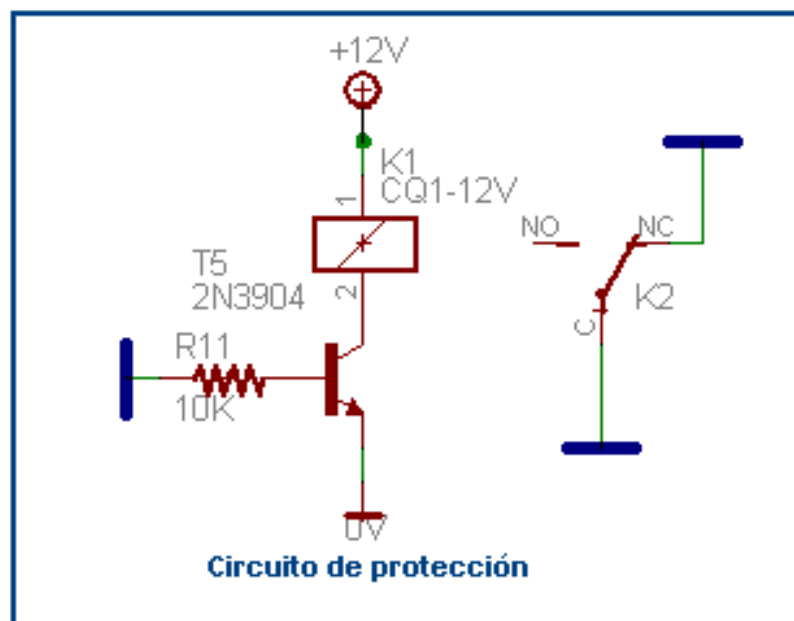
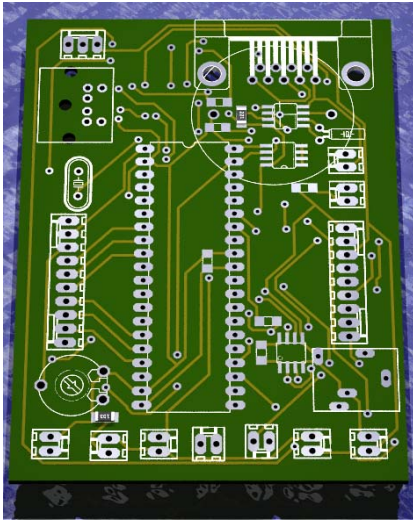
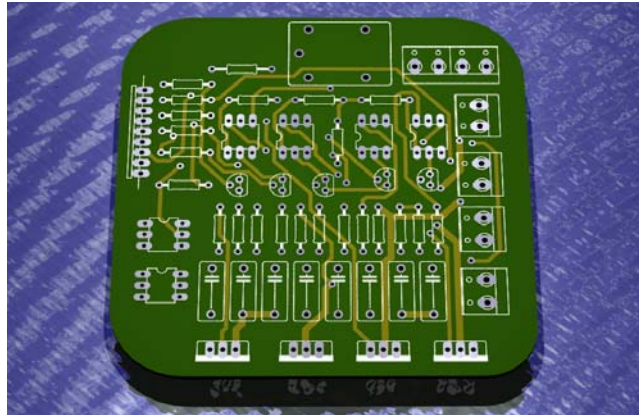


Figura 32. Tarjetas pcb diseñadas



Tarjeta de control



Tarjeta de potencia

3.3.2 Diseño y selección del humidificador. El humidificador es el dispositivo que aporta la cantidad de agua requerida para mantener la humedad relativa en el nivel establecido de 60% -65 % en los primeros 18 días y de 80% -85 % los últimos tres días.

El método de humidificación escogido es por medio de vapor saturado, generado de la ebullición de pequeñas gotas de agua que se dejan caer libremente sobre la superficie de la resistencia eléctrica; debido a su alta temperatura el cambio de fase del agua es instantáneo y aumenta rápidamente la humedad del sistema.

Este sistema fue escogido debido a que el aporte de agua necesario para aumentar la humedad relativa de nuestro sistema es de apenas unos cuantos mililitros razón por la cual la dosificación de la cantidad de agua debe ser

muy precisa; el aporte del agua se realiza gota a gota lo cual permite un control exacto de la humedad.

Es importante aclarar que el dispositivo de humidificación está montado sobre la plataforma del elemento calefactor; por lo tanto tenemos en su conjunto el dispositivo de calentamiento – humidificación, de esta forma será llamado de aquí en adelante en el presente libro.

El humidificador diseñado se basa en un principio sencillo pero con resultados excelentes para nuestra aplicación específica. Por medio de una electroválvula conectada al depósito de agua se da paso al fluido dependiendo de las necesidades de humedad del sistema. El agua mientras es conducida por las mangueras de alimentación es dosificada a una rata de flujo preestablecida inicialmente. De esta forma cuando la humedad disminuye por debajo de un valor de referencia, la electroválvula se enciende, permite el paso de agua por el dosificador, y estas gotas de agua caen sobre la resistencia eléctrica cambiando de fase de forma instantánea. A continuación en la figura 7, se presenta la forma final del elemento de humidificación, en el cual se aprecia la resistencia eléctrica, el ventilador y la tubería para la entrada de agua.

Figura 33: elemento de humidificación

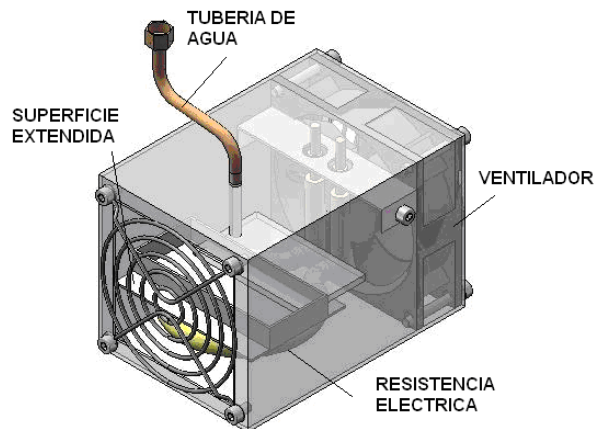
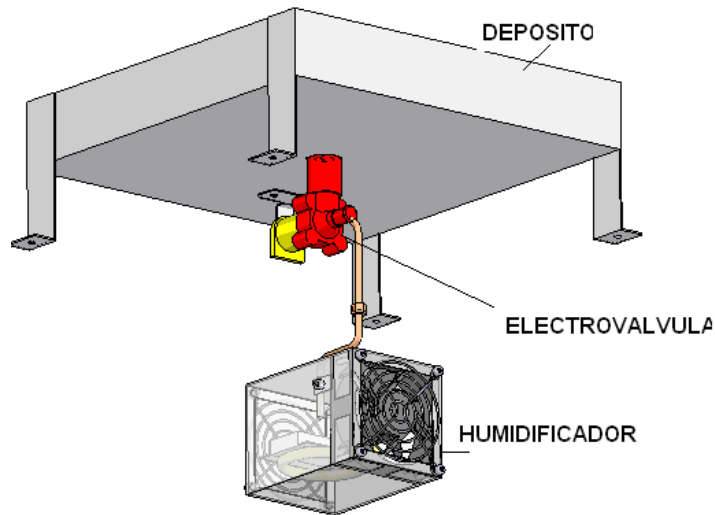


Figura 34. Sistema de humidificación

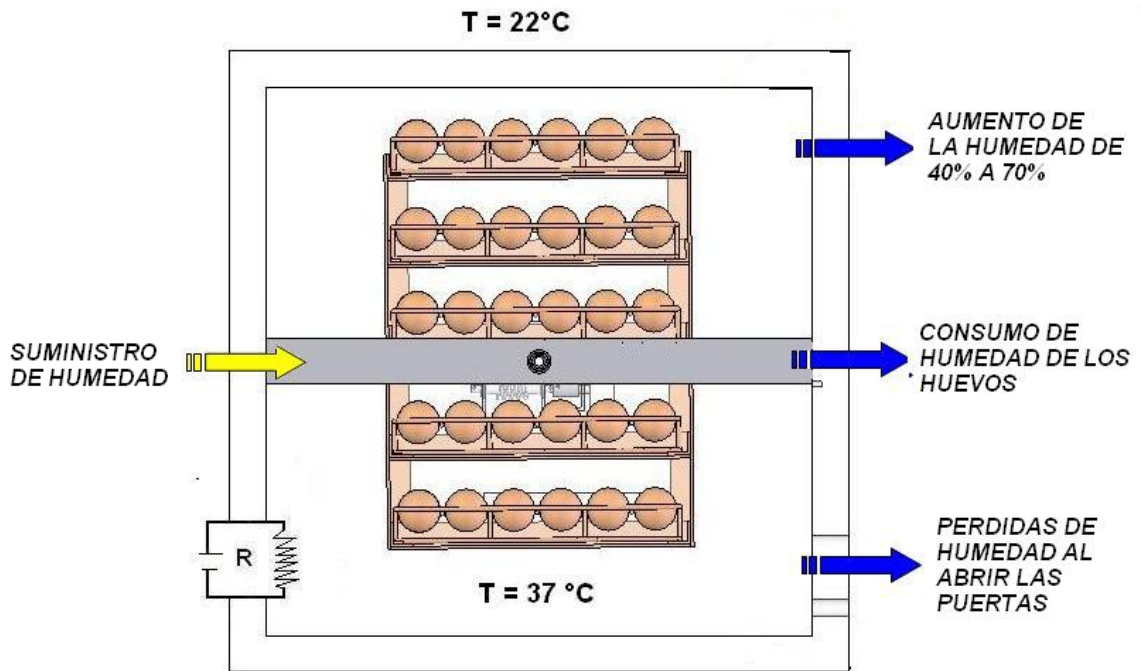


Cálculos de la humidificación requerida. Para el diseño del humidificador se deben tener presentes las condiciones ambientales para la ciudad de Bucaramanga, con el fin de hacer un seguimiento óptimo de las condiciones ambientales al interior del recinto. Esto no implica que el equipo no funcione para cualquier condición climática, simplemente permite hacer un buen estudio de las variables que se analizaran.

Los requerimientos que el humidificador debe cumplir para un diseño exitoso son:

- El humidificador debe aumentar la humedad relativa desde 40% de HR hasta 70% HR en un tiempo no superior a 3 minutos.
- Suministrar la cantidad de agua requerida para mantener la humedad relativa en un rango de 70% - 80%, teniendo presente:
 - ◆ Consumo de humedad de los huevos
 - ◆ Humedad perdida al abrir puertas

Figura 35. Humedad requerida en el proceso



Para calcular cada uno de los parámetros anteriormente mostrados, primero se mostraran las condiciones ambientales para Bucaramanga.

Características del medio ambiente en Bucaramanga (tomado pagina CDMB), véase figura 29 y 30

Para el día Enero 3 de 2.008

Presión atmosférica = 682 mmHg = 90.92 KPa

Humedad relativa promedio = 75%

Temperatura ambiente = 20°C

A continuación en la figura 29 y 30, se muestran las graficas tomadas de la página de la CDMB para la humedad relativa y la temperatura a través del día.

Figura 36. Humedad relativa de Bucaramanga

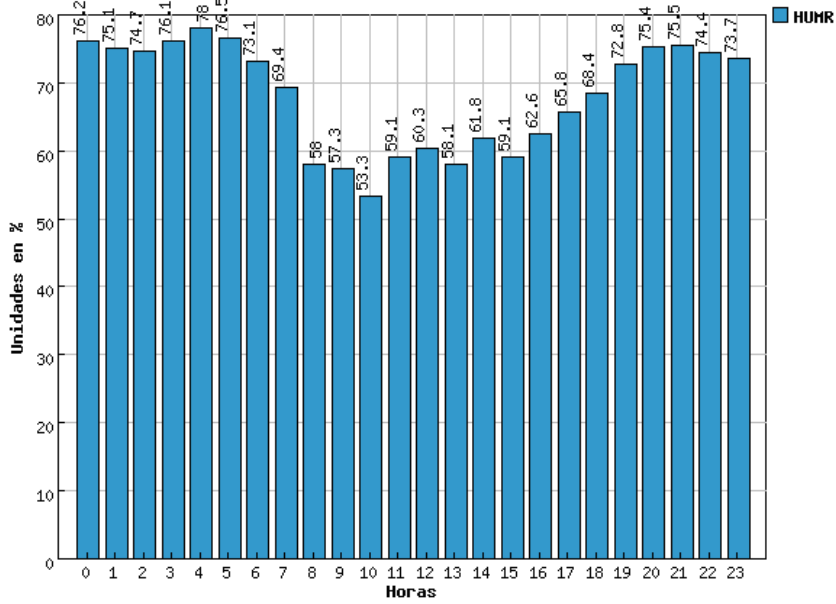
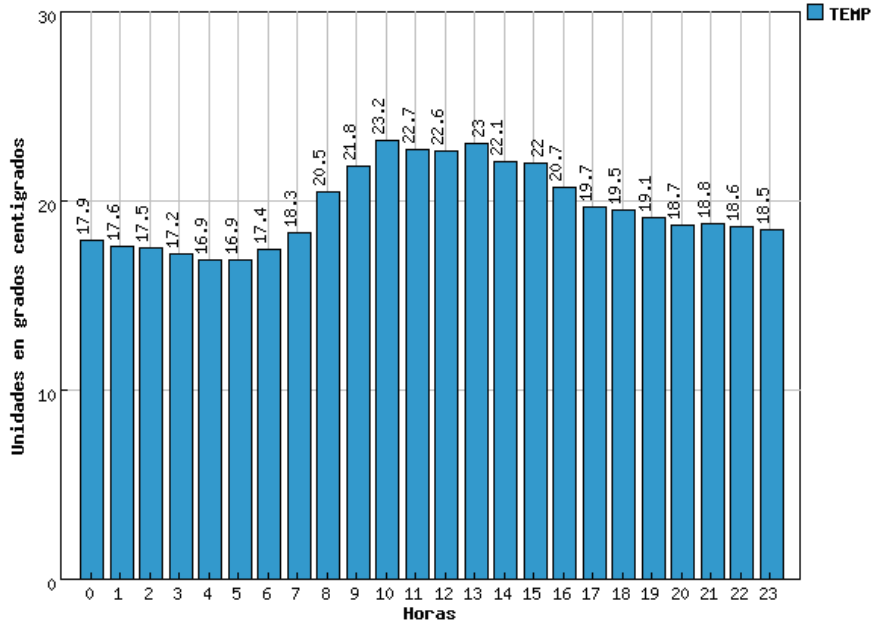
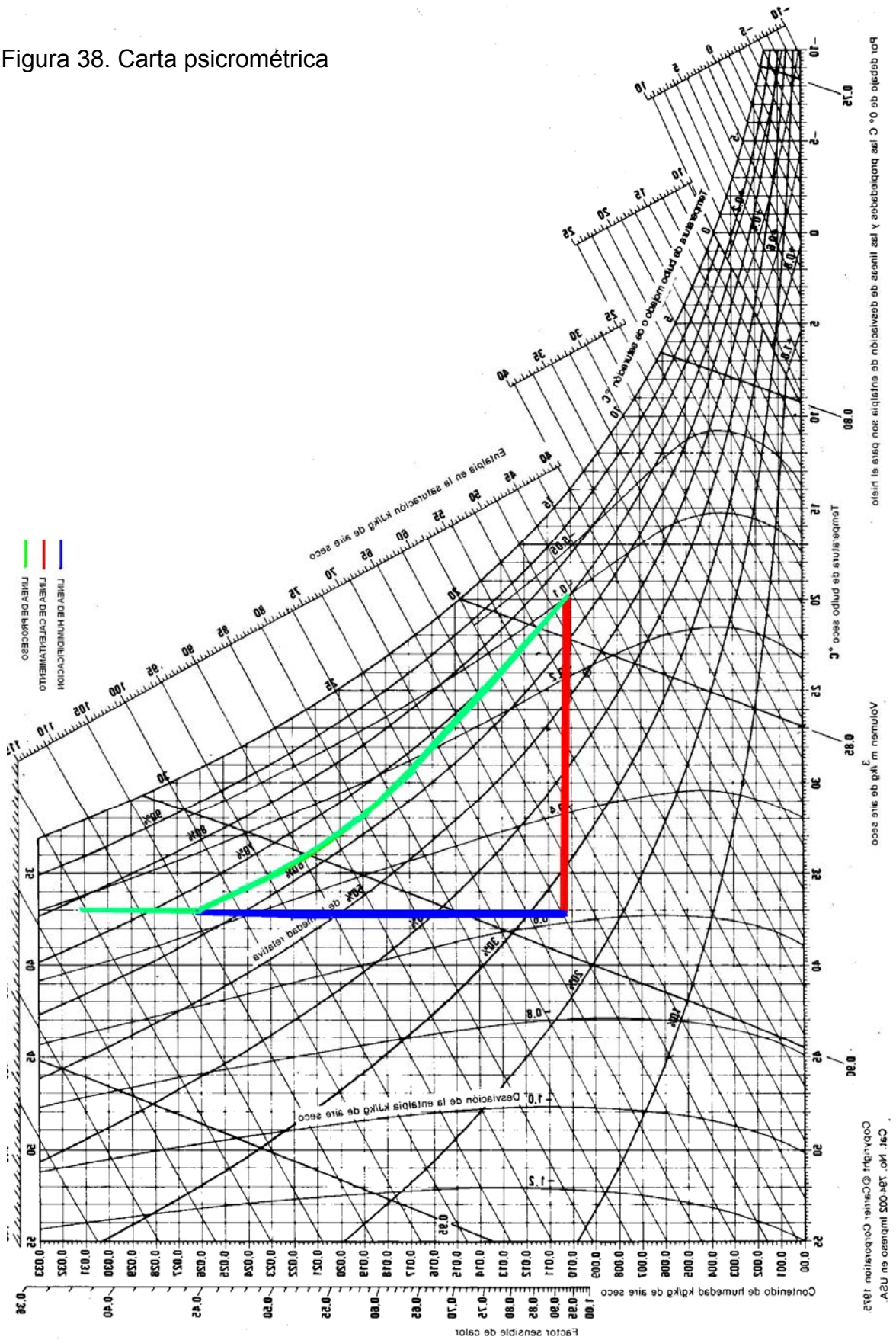


Figura 37. Temperatura ambiente de Bucaramanga



De acuerdo a esto se muestra a continuación la carta psicrométrica, donde se ilustra el proceso de calentamiento y humidificación seguido en el interior de la Incubadora al comienzo del periodo de incubación hasta las condiciones ambientales requeridas.

Figura 38. Carta psicrométrica



Condiciones iniciales

Humedad relativa promedio = 75%

Temperatura ambiente = 20°C

Condiciones finales

Humedad relativa promedio = 65%

Temperatura ambiente = 38°C

- ◆ **El humidificador debe aumentar la humedad relativa desde 40% de HR hasta 70% HR en un tiempo no superior a 3 minutos al comienzo del periodo de incubación.**

A continuación se analizan los estados termodinámicos importantes para el análisis del proceso de incubación.

Nota:

A pesar de que la humidificación y el calentamiento son procesos simultáneos se analizarán por separado por facilidad de cálculo.

El proceso inicia con el aire húmedo a condiciones ambientales (ver condiciones para Bucaramanga), aquí se inicia el calentamiento del aire por medio de la resistencia hasta alcanzar la temperatura deseada que es de 37°C y la humedad relativa disminuye hasta 40% debido al aumento de temperatura.

Para este estado tenemos:

$T = 37^{\circ}\text{C}$ temperatura

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

$P_{\text{gsaturacion@}37^{\circ}\text{C}} = 6.3304 \text{ KPa}$ Presión de saturación a la temperatura de 37°C

$$P_v = \phi P_g = 0.4 * 6.3304 = 2.55 \text{ KPa Presión vapor}$$

Con estos datos podemos calcular la masa de agua, presente en el aire de la incubadora, es importante aclarar que volumen aire = volumen vapor agua = volumen de la incubadora (ley de Dalton), ecuación de gas ideal:

$$P \cdot V_v := m \cdot R_v \cdot T$$

$$V_v = 0.2528 \text{ m}^3 \text{ Volumen de vapor de agua (volumen del cuarto)}$$

$$R_v = 0.4615 \text{ KPa m}^3//\text{Kg. K Constante vapor de agua}$$

De acuerdo a esto la masa de agua es de 4.415 g de agua o 4.415 ml de agua

En este estado humidificamos hasta alcanzar la humedad relativa de 65% y mantenemos igual temperatura así:

$$T = 37^\circ\text{C temperatura}$$

$$\phi = \text{HR} = 65\% \text{ Humedad relativa}$$

$$P_{\text{gsaturacion@}37^\circ\text{C}} = 6.3304 \text{ KPa Presión de saturación a la temperatura de } 37^\circ\text{C}$$

$$P_v = \phi P_g = 0.65 * 6.3304 = 4.11476 \text{ KPa Presión vapor}$$

Con estos datos podemos calcular la masa de agua, presente en el aire de la incubadora, es importante aclarar que volumen aire = volumen vapor agua = volumen de la incubadora (ley de Dalton), ecuación de gas ideal:

$$P \cdot V_v := m \cdot R_v \cdot T$$

$$V_v = 0.2528 \text{ m}^3 \text{ Volumen de vapor de agua (volumen del cuarto)}$$

$$R_v = 0.4615 \text{ KPa m}^3//\text{Kg. K Constante vapor de agua}$$

De acuerdo a esto la masa de agua es de 7.125 g de agua o 7.125 ml de agua

En los últimos tres días la humedad relativa debe aumentar hasta 80%, manteniendo la temperatura, luego:

$T = 37^{\circ}\text{C}$ temperatura

$\phi = \text{HR} = 80\%$ Humedad relativa

$P_{\text{gsaturacion@}37^{\circ}\text{C}} = 6.3304 \text{ KPa}$ Presión de saturación a la temperatura de 37°C

$P_v = \phi P_g = 0.8 * 6.3304 = 5.38084 \text{ KPa}$ Presión vapor

Con estos datos podemos calcular la masa de agua, presente en el aire de la incubadora, es importante aclarar que volumen aire = volumen vapor agua = volumen de la incubadora (ley de Dalton), ecuación de gas ideal:

$$P \cdot V_v := m \cdot R_v \cdot T$$

$V_v = 0.2528 \text{ m}^3$ Volumen de vapor de agua (volumen del cuarto)

$R_v = 0.4615 \text{ KPa m}^3//\text{Kg. K}$ Constante vapor de agua

De acuerdo a esto la masa de agua es de 9.317 g de agua o 9.317 ml de agua

Análisis de los resultados obtenidos. Teniendo presente los resultados obtenidos anteriormente se puede apreciar que el aporte necesario de agua para aumentar la humedad relativa hasta los valores requeridos de 65% y 80%, es de 2.71 ml y en el segundo es de 4.9 ml.

Luego, el caudal de agua que se requiere suministrar es de 5 ml / 3 minutos = 1.7 ml/min.

- ◆ **Suministrar la cantidad de agua requerida para mantener la humedad relativa en un rango de 70% - 80%**

A continuación se calcula el consumo de agua por los siguientes factores:

- **Consumo de humedad de los huevos**

Para calcular el consumo de agua de los huevos durante su desarrollo embrionario, se procede obteniendo la diferencia entre el porcentaje de agua del peso final de los polluelos y el porcentaje de agua del peso inicial de los huevos, resumiéndose así:

Cuadro 26. Agua requerida por huevo

Característica	Peso total	Porcentaje agua	Peso de agua
Huevo fresco	70 g	65%	45,5 g
Pollito recién nacido	60 g	85%	51 g
Restos saco vitelino	45 g	75%	34 g
Restos cascaron	42 g	45%	19 g
Total de agua absorbida durante incubación = 59 g = 59 ml			

Cuadro 27. Agua requerida por minuto

Características	Agua
Agua absorbida por un huevo	59 ml
Agua absorbida total huevos	12390 ml
Agua absorbida por todos huevos en un día	590 ml
Caudal de agua requerido	0.4 ml / min.

El caudal de agua requerido por lo huevos es de 0.4 ml / min.

Humedad perdida al abrir puertas. Para el análisis de la humedad perdida al abrir las puertas es importante tener presentes los resultados experimentales mostrados en los anexos, concluyéndose que:

- Cuando las puertas son abiertas, la temperatura rápidamente disminuye, la humedad relativa disminuye pero paulatinamente hasta llegar al equilibrio con el aire atmosférico; además como la humedad para Bucaramanga es bastante alta el cambio es relativamente pequeño, solo de 5 – 7 puntos de humedad.
- En el momento de cerrar las puertas y nuevamente alcanzar la temperatura y humedad de operación del equipo, el aire seco caliente debe ser humidificado, por lo tanto el aporte disponible de agua debe ser el mismo que el calculado inicialmente para cambiar de humedad 40% hasta humedad 70%.

Por lo tanto, el caudal de agua requerido es de 1ml /min.

El caudal de agua mínimo requerido se obtiene así:

Cuadro 28. Caudal de agua requerido

Descripción	Cantidad	Unidades
Aumentar la humedad del cuarto	1.7	ml
Consumo de los huevos	0.4	ml
Perdidas al abrir las puertas.	1	ml
Caudal total	3.1	ml

El caudal total de agua debe ser de 3.1 ml /min.

Dimensiones del depósito. Para el dimensionamiento del depósito definimos como el tiempo de autonomía del equipo 2 días, tiempo durante el cual el equipo puede funcionar sin atención del avicultor.

Por espacio y ubicación del depósito las medidas máximas deben ser de 35 cm x 35 cm. de lado, luego la altura del tanque es de:

Cuadro 29. Dimensiones del tanque

Volumen de agua requerida	$V = Q \times t$	Q = caudal de agua t = tiempo de autonomía	Q = 3,1 ml/min. t = 48 horas	V = 8928 ml
Altura del tanque	$V = L \times L \times H$	L = medida lateral del tanque H = altura tanque	L = 35 cm.	H = 7.3 cm

Las dimensiones del tanque es de 35 cm. de lado y 7.5 cm. de altura

Selección de la electroválvula. La electroválvula utilizada es de uso general en diversos electrodomésticos o equipos de propósito general tales como lavadoras, saunas, jacuzzi u otros equipos de esa gama.

La válvula es de accionamiento ON/OFF, solo dos posiciones permiten, abierto o cerrado.

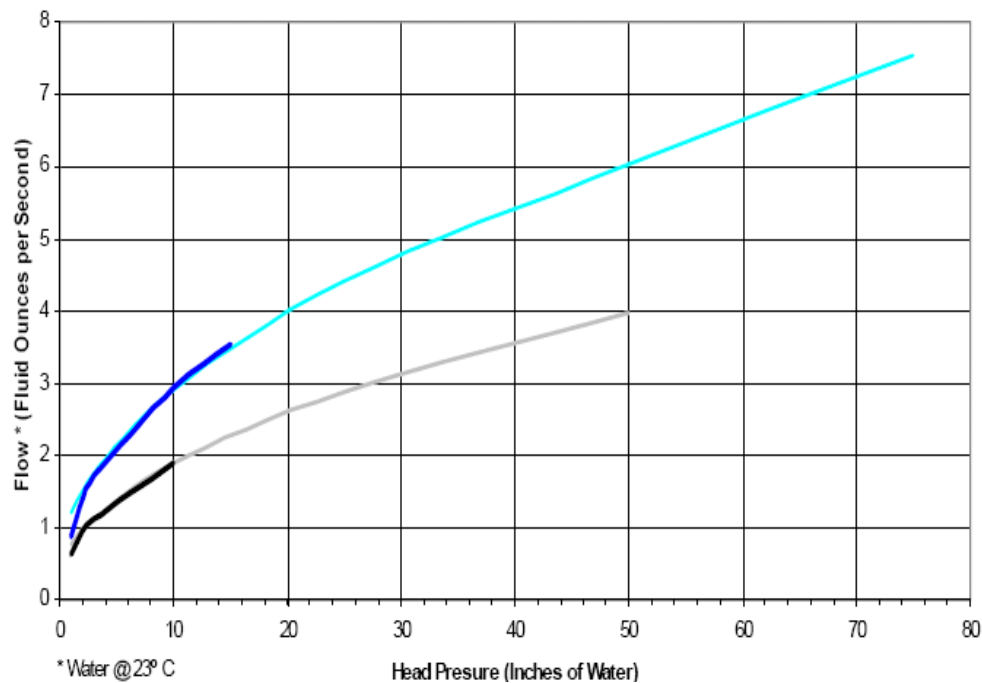
Para la selección de la válvula es importante tener el caudal de agua calculado anteriormente de 3.1 ml / min., ya que la válvula que seleccionemos debe proveer un caudal mayor.

En la figura siguiente se presenta la curva característica de la válvula; la cabeza de presión, en nuestro sistema es:

De acuerdo al montaje, la válvula se conecta en la parte inferior del depósito, la altura del agua es de 7.5 cm.

La cabeza de presión es de alrededor de 21 in de agua de presión.

Figura 39. Curva característica del electro-válvula



Para esta cabeza, el caudal de agua es de 6.8 lt / min. (4 oz./seg.), caudal suficiente para nuestra necesidad.

Las características de estas válvulas de baja presión son:

- Fuente de voltaje: corriente alterna 110v
- Potencia consumo: 12w
- Caudal de agua: 6.8 lt / min.
- Dimensiones principales: 3.8 in x 2.8 in

Selección del dosificador de agua. El dosificador de agua es un gotero, el cual permite variar la rata de flujo que se desea descargar hacia el humidificador; el gotero debe calibrarse antes de ponerse en operación el equipo, ya que el sistema de control solo se encargara de prender y apagar la válvula dependiendo de las necesidades del sistema.

De acuerdo a los cálculos mostrados anteriormente el caudal de agua permitido por la electroválvula, es de 6.8 lt / min., pero el sistema solo requiere 3.1 ml / min., -durante el estado estable- por lo tanto, el gotero debe ser calibrado para permitir este caudal de agua y satisfacer el requerimiento impuesto por el sistema.

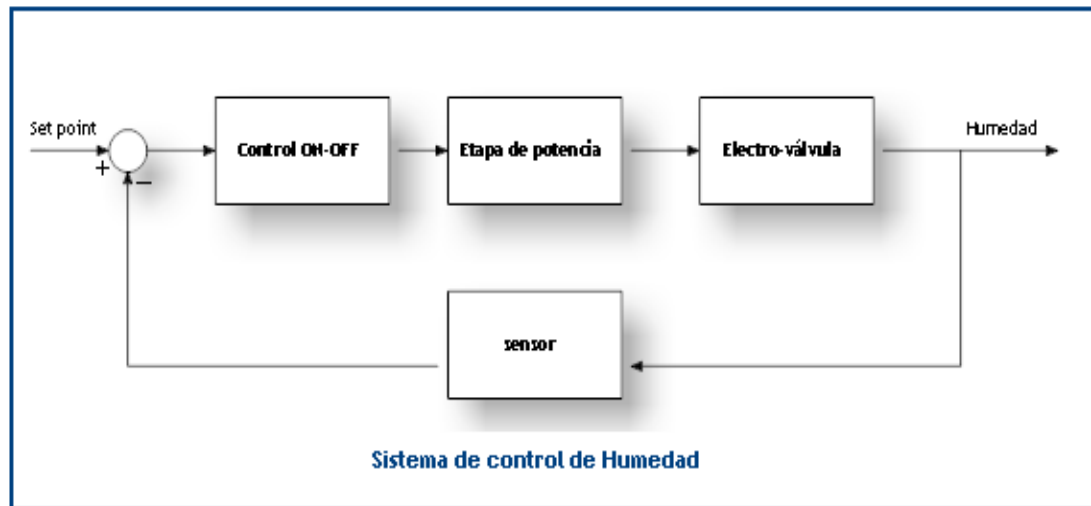
SISTEMA DE CONTROL

Una de las variables físicas más difíciles de controlar es la humedad relativa, esta ayuda a aumentar la eficiencia en el proceso de incubación y evita que los pollitos se peguen a la cáscara.

El rango de humedades más aconsejables en el cual deberá permanecer el sistema es de 60% - 65% RH, por tanto se implemento un control ON-OFF con brecha diferencial. Este se realizo en forma programada e implementada en el microcontrolador HC68HC908GP32 de freescale semiconductor.

Es de vital importancia resaltar que el dispositivo de humidificación está dispuesto dentro de los elementos de calentamiento, la resistencia utilizada para hacer cambiar de fase el agua es la misma que se usa para el calentamiento.

Figura 40. Sistema de control de humedad

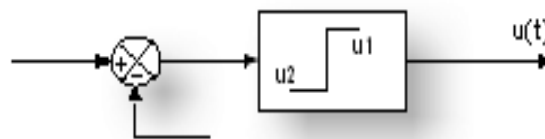


Por lo tanto, la resistencia eléctrica utilizada tiene las mismas especificaciones que la de calentamiento así como el ventilador de enfriamiento, y se anexan algunas partes con el fin de lograr la humidificación.

Como se explico anteriormente la humedad se logra por medio de vapor saturado, producido por medio de la ebullición de una pequeña gota de agua que cae sobre la superficie caliente de la resistencia.

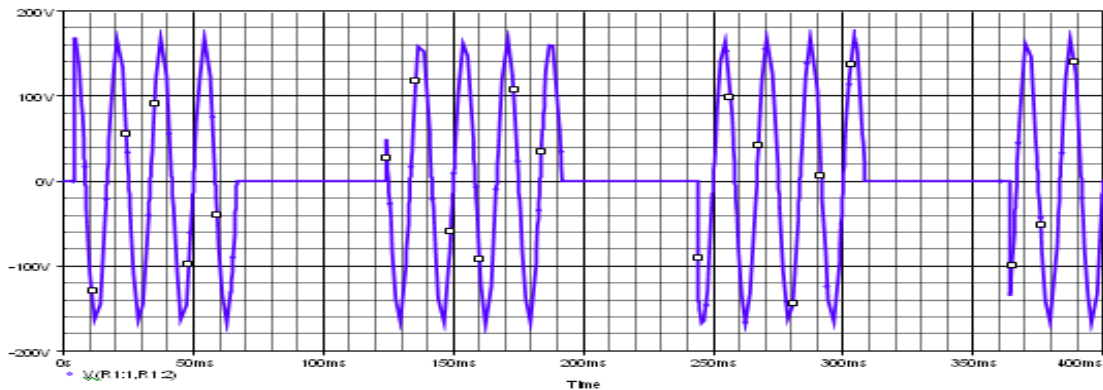
$$u(t) = \begin{cases} u_1, & \text{para } e(t) > 0 \\ u_2, & \text{para } e(t) < 0 \end{cases}$$

Figura 41. Control ON-OFF con brecha diferencial



El controlador on-off se encarga de activar o desactivar la electro-válvula dependiendo del estado en que se encuentra la humedad relativa, en el circuito lo que se busca es permitir o restringir el paso de la señal alterna de 120vol. Ver figura (42).

Figura 42. Control de la señal alterna para la humidificación



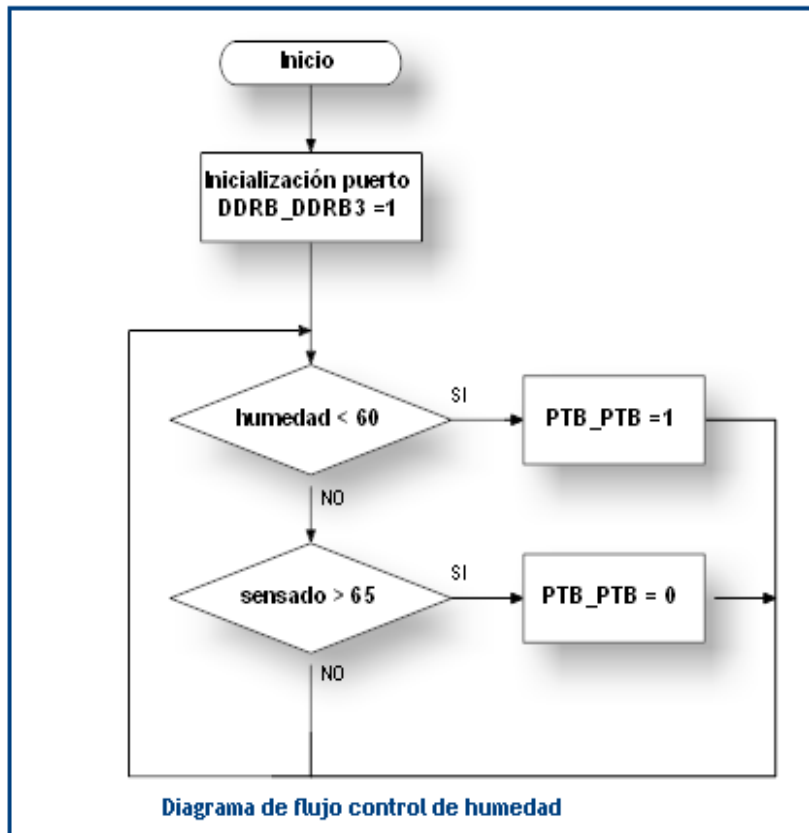
Cuando la humedad se encuentra por debajo del valor mínimo deseado (60% RH), tomada por el sensor SHT11 de sensirion, el puerto del microcontrolador se coloca en alto (5vol) indicando que debe funcionar el sistema de humidificación, esta señal es tomada por la etapa de potencia en donde hace que se active la electroválvula.

Cuando la humedad iguala o sobrepasa el valor máximo aconsejado la salida del puerto de microcontrolador se coloca en bajo (0vol) lo que hace que el sistema para humidificar no funcione.

Su algoritmo de implementación se muestra en la siguiente figura.

(Ver figura 43)

Figura 43. Diagrama de flujo de control de humedad

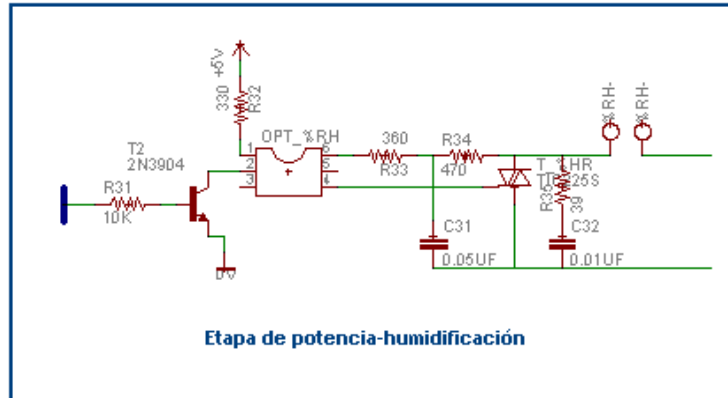


Etapa de potencia del control de humedad. Su función principal es activar el triac BT136 para esto se coloca un optotriac con el fin de evitar contacto eléctrico entre el circuito de potencia y el de control.

El puerto del microcontrolador activa el transistor, este actúa como amplificador de corriente evitando que el microcontrolador tenga que demandar alta corriente para poder activar el optotriac.

El optotriac cumple la función de aislar los dos circuitos, las capacitancias actúan como protección y son muy utilizadas para cargas inductivas.

Figura 44. Etapa del potencia humidificador



3.4 Extractor

Para la selección del extractor se deben tener presente los requerimientos de operación del equipo, que hacen indispensable su presencia, de acuerdo a datos técnicos encontrados durante la investigación,⁸

- El ventilador debe funcionar a partir del tercer día y cada hora, durante un tiempo de 2 - 3 minutos, garantizando que por lo menos sean removidas todo el volumen de aire en el cuarto una vez cuando se encienda.
- La velocidad del aire del ventilador debe ser suficiente para generar un flujo que propicie la salida del aire viciado por la parte inferior.

Para la selección del ventilador se calcula el caudal de aire requerido

$$Q := N \cdot \frac{V}{t}$$

Q = caudal de aire requerido en m³/s

N = número de veces que el aire del equipo debe ser movido = 10

⁸ Centro de tecnología de incubación orientada al futuro, sistema de control climático. Extraído el 25 de febrero del 2008 desde <http://www.pasreform.com/>

$V = \text{volumen de aire incubadora} = 60 \text{ cm.} \times 60 \text{ cm.} \times 48 \text{ cm.} = 0.1728 \text{ m}^3$

$t = \text{tiempo de trabajo ventilador} = 1 \text{ hora}$

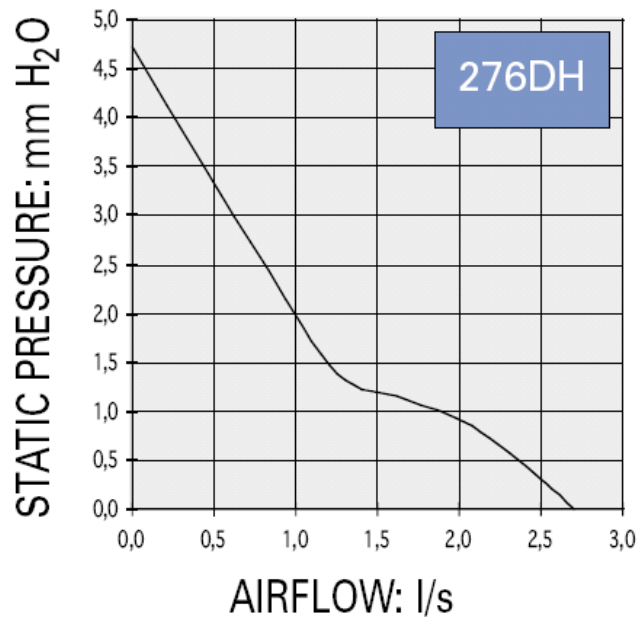
Realizando los cálculos

El caudal de aire requerido es de $0.1728 \text{ m}^3/\text{hr}$

Dentro de la gama de ventiladores para PC se selecciono el siguiente ventilador referencia 80 x 80 x 25 ya que proporciona un caudal de aire cercano a nuestras necesidades.

La operación del ventilador debe temporizarse con el objetivo de conseguir el caudal de aire óptimo en la operación del equipo.

Gráfica 3. Static pressure: mm H₂O Vs Airflow: L/s



Las características del ventilador seleccionado son:

Caudal de aire = $2.7 \text{ l/s} = 9.8 \text{ m}^3/\text{hr}$

Velocidad = 2000 r.p.m.

Voltaje = 12v

Dimensiones = 8 cm. x 8 cm. x 2.5 cm.

4. PRUEBAS REALIZADAS A LA INCUBADORA DE HUEVOS

4.1 PRUEBA N ° 1: MECANISMO DE VOLTEO

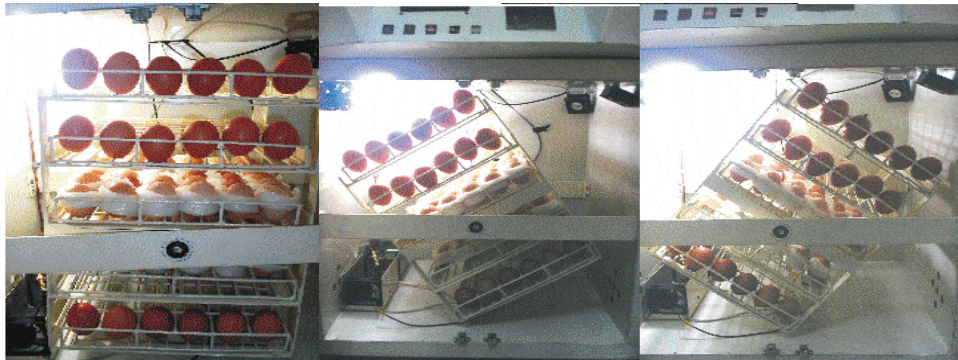
La primera prueba realizada a la incubadora fue al dispositivo de volteo con el fin de comprobar su excelente desempeño y confiabilidad.

Para la realización de la primera prueba se dispuso sobre las bandejas una carga de igual magnitud al peso de los huevos; distribuida uniformemente tal y como se acomodarían los huevos; el material utilizado fue sal de cocina.

La carga que se dispuso sobre cada bandeja fue de 3.5 Kg. La carga total a la que se sometió el sistema fue de 17.5 Kg; el tiempo total de la prueba fue de tres días continuos sin desconectar el sistema.

A continuación se muestra una imagen del dispositivo de volteo, montada sobre el prototipo de madera, oscilando continuamente durante los tres días de la prueba.

Figura 45. Prueba protocolo de volteo



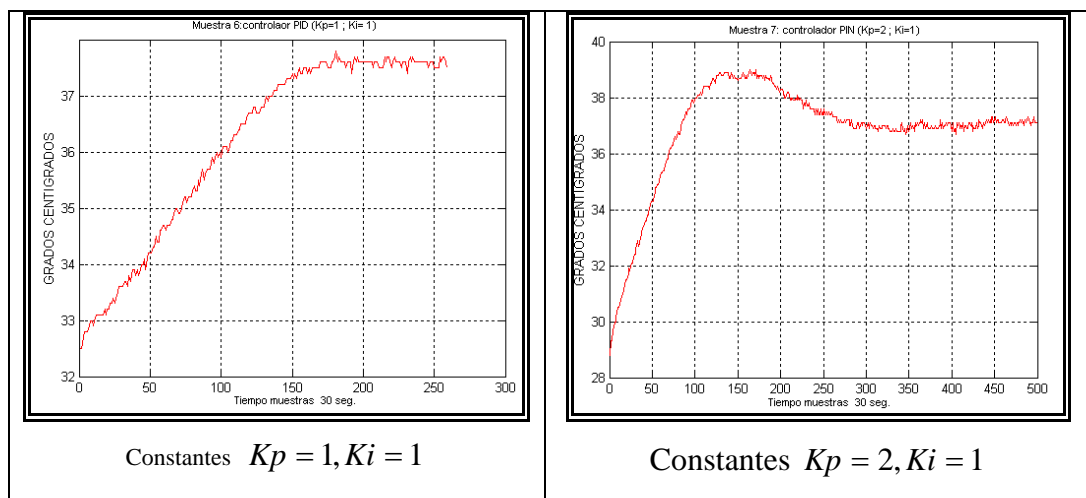
4.2 PRUEBA N ° 2: CONTROLADOR PI

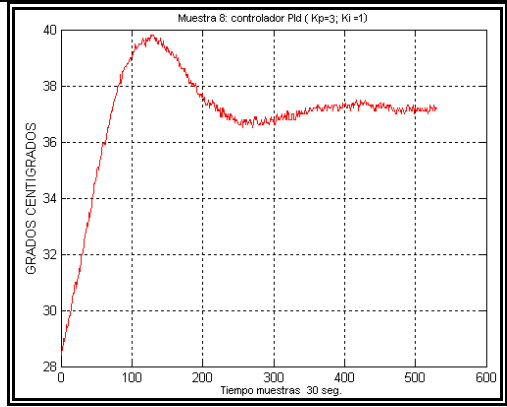
Durante el proceso de incubación se tomaron diversos datos sobre el comportamiento del equipo; se realizaron muestreos sobre el comportamiento de la temperatura y la humedad relativa, lectura del consumo de energía total del equipo y los resultados del proceso de incubación, a continuación se muestran los resultados obtenidos.

El muestreo siguiente ilustra el comportamiento de la temperatura través del tiempo dentro de la incubadora; durante un cierto intervalo de tiempo de la muestra.

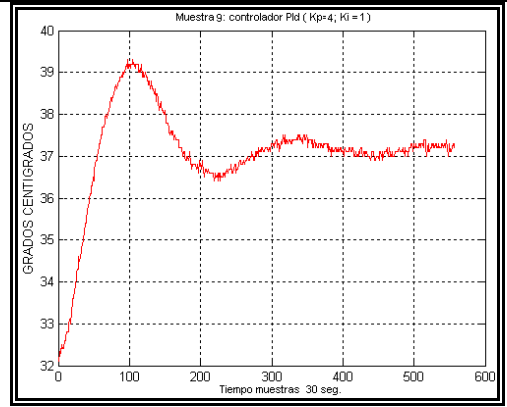
Para la consecución de las constantes K_p, K_i , se realiza mediante el método de prueba y error. Se utilizó el controlador PI desarrollado en el microcontrolador. Para este caso se realizaron pruebas en un rango de (1 – 5) para K_p y K_i ,

Figura 46. Comportamiento de la temperatura al variar las constantes K_p, K_i

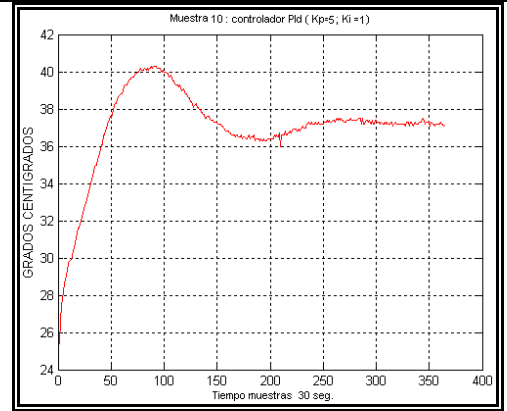




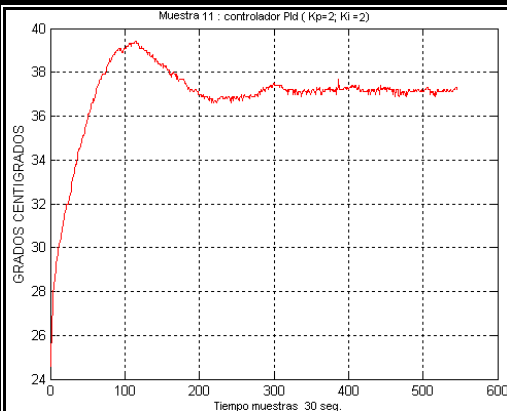
Constantes $K_p = 3, K_i = 1$



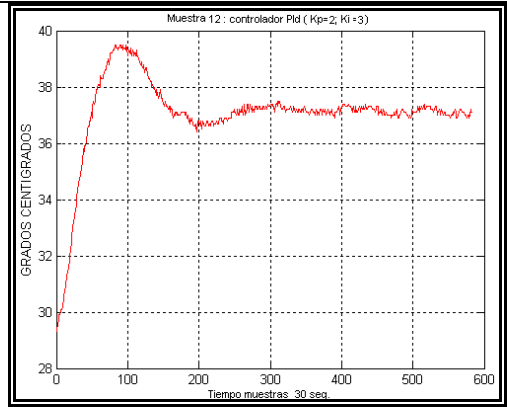
Constantes $K_p = 4, K_i = 1$



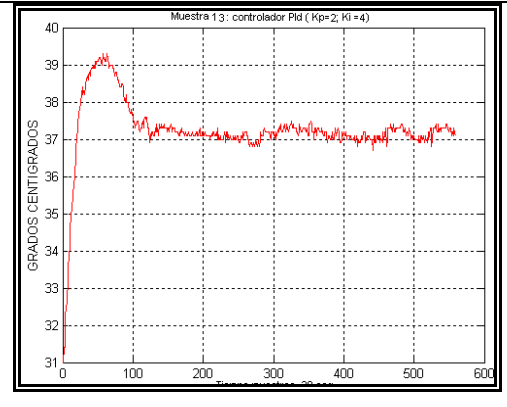
Constantes $K_p = 5, K_i = 1$



Constantes $K_p = 2, K_i = 2$



Constantes $K_p = 2, K_i = 3$

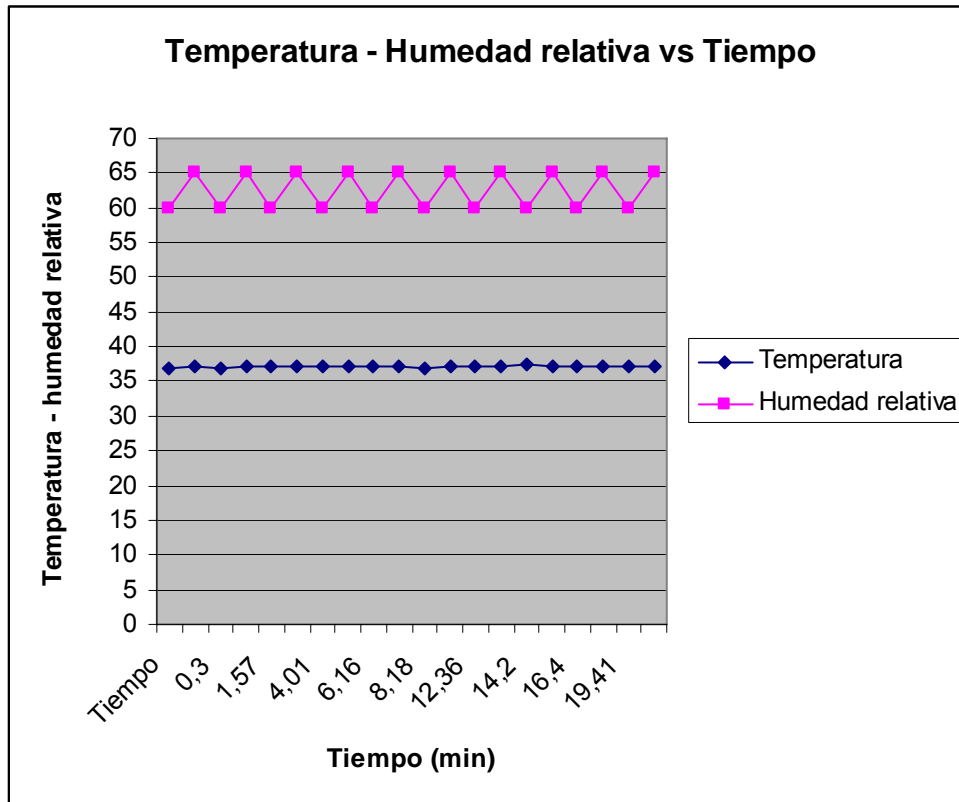


Constantes $K_p = 2, K_i = 4$

Cuadro 30. Resultados de las pruebas con el controlador PI

CALIBRACIÓN DE CONSTANTES MEDIANTE PRUEBA Y ERROR							
Nº de prueba	% de potencia entregado a las resistencias	Temperatura inicial	Temperatura final	$K_p - K_i$	Tiempo total de la muestra (horas)	Figura Nº	OBSERVACIONES
1	80%	32.8°C	37.5°C	1-1	2.083	4.7	No alcanzó el Set-Point, posee un tiempo de levantamiento muy extenso.
2	80%	28.9°C	39°C	2-1	4.16	4.8	Tiempo de levantamiento más rápido, aumento de sobrepaso, tiempo de establecimiento mayor a cuatro horas.
3	80%	28.2°C	39.9°C	3-1	5	4.9	Tiempo de sobre pico disminuye, sobre paso máximo aumenta al igual que el tiempo de asentamiento.
4	80%	32.1°C	39.1°C	4-1	5	4.10	Al aumentar el término proporcional disminuyen: tiempo de pico, tiempo de retardo y tiempo de levantamiento. Tiempo de sobrepaso y tiempo de asentamiento aumentan.
5	80%	25.7°C	40.1°C	5-1	3.33	4.11	Al aumentar el término proporcional disminuyen: tiempo de pico, tiempo de retardo y tiempo de levantamiento. Tiempo de sobrepaso y tiempo de asentamiento aumentan.
6	80%	25°C	39.8°C	2-2	5	4.12	Se opta por variar K_i , con el fin de disminuir el tiempo de establecimiento.
7	80%	28.7°C	39.8°C	2-3	5	4.13	Disminuyó el tiempo de establecimiento.
8	80%	31.2°C	39.1°C	2-4	5	4.14	Disminuyó el tiempo de establecimiento.
CONCLUSIONES: Se decide tomar $K_p = 2$ y $K_i = 1$, debido a que mostró un buen desempeño. Posterior a las pruebas se dejó la máquina encendida durante varios días sin ocasionar perturbación alguna, se observó el trabajo, siendo flexible al cambio de temperatura externa que debido al material de fabricación y diseño tiene gran influencia para mantenerla.							

Figura 47. Comportamiento de la temperatura y la humedad relativa



Se aprecia claramente lo siguiente:

- El control de la temperatura es muy exacto durante el estado estable ya que la temperatura se mantiene constante a través del tiempo dentro de un rango muy cercano al deseado, aunque la resolución de la grafica no lo muestra la temperatura se mantuvo en 37.5 °C – 37.7 °C durante los 21 días.
- El comportamiento de la humedad relativa debido al control ON/OFF que la gobierna oscila dentro del rango propuesto de 60% -65% durante el periodo de incubación. En la grafica anterior se aprecia claramente el cambio continuo de la humedad a través del tiempo. Es importante aclarar que la humedad relativa aumenta cuando el sistema de control activa la electro

válvula. Cada uno de los datos tomados corresponden al tiempo en el cual la electro-válvula se enciende (%HR = 65) y se apaga (%HR = 60)

El consumo de energía registrado durante la operación del equipo es el siguiente:

Cuadro 31. Consumo de energía

Consumo energía		
Elemento	Corriente	Potencia
Resistencia eléctrica	1.1 Amperio	132 w
Válvula solenoide	0,08 Amperio	9.6 w
Motor eléctrico	0,05Amperio	6 w
Controlador	0,025 amperio a 12v	3w
Potencia total		150.6 w

En promedio el consumo de energía del equipo es de 150 w durante la operación estable.

Para la realización de la prueba de incubación se introdujeron en el equipo 70 huevos de gallina criollos los cuales fueron adquiridos en granjas cercanas a la ciudad de Bucaramanga y en el municipio de Barbosa, Santander.

Los resultados obtenidos en el proceso de incubación se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 32. Estadísticas de incubación

Resultados prueba incubación		
Huevos totales introducidos	70	Huevos colocados el día 0 de incubación
Huevos no fecundados	22	Separación de los huevos infértiles por ovoscopia del día 18 de incubación
Huevos con posibilidades de nacer	48	Huevos con posibilidades reales de nacer día 18 de incubación
Nacimientos exitosos	36	Pollitos nacidos en perfecto estado de salud
Nacimientos defectuosos	3	Pollitos con deformación en las patas o alas
Huevos fecundados no nacimientos	9	Huevos con pollito formado pero no existieron condiciones optimas para su nacimiento.

De acuerdo al cuadro anterior la eficiencia general del equipo construido se calcula como la comparación entre los huevos con posibilidades de nacer y los nacimientos exitosos, así:

$$\eta := \frac{\text{Nacimientos}_{\text{exitosos}}}{\text{Huevos}_{\text{posibilidades.nacer}}} \quad \eta := \frac{36}{48}$$

La eficiencia del equipo es de 75%

Además considerando que es la primera prueba realizada al equipo y nuestra primera experiencia en incubación, además del desconocimiento de la calidad de los huevos que adquirimos para el proceso, se considera que el resultado es bueno, ya que controlando mejor las variables dentro del cuarto se puede aumentar la eficiencia del equipo.

Además es importante aclarar que de acuerdo a la experiencia de las personas consultadas en la realización de este equipo, la eficiencia de una

incubadora de huevo por más perfecta que funcione y con la máxima calidad de huevos, nunca es de 100%, normalmente oscila entre 80% -85 % y las mejores dentro del rango del 90%

Algunas imágenes del resultado de la prueba se muestran a continuación.

Figura 48. Nacimiento de pollitos



Figura 49. Incubadora construida



5. ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCUBADORA

A continuación se presenta el análisis de los costos totales del equipo, desglosados de acuerdo a las tres partes principales del equipo, dispositivo de volteo, calentador - humidificador, cuarto de incubación y sistema de control; además se incluyen los gastos de las pruebas y prototipos. Por ultimo el precio comercial del equipo.

Cuadro 33. Costos totales de fabricación

PRESUPUESTO GENERAL INCUBADORA DE HUEVOS			
Dispositivo de volteo			705.000
	Motor	25.000	
	Reductor velocidad	180.000	
	Estructura aluminio	180.000	
	Bandejas	85.000	
	Rodamientos	45.000	
	Lamina y dobleces	80.000	
	Otros	110.000	
Calentador humidificador			115.000
	Resistencia eléctrica	15.000	
	electroválvula	15.000	
	Deposito	15.000	
	Tuberías y manguera	35.000	
	Estructura calentador	35.000	
Cuarto de incubación			665.000
	Aislante térmico	95.000	
	Estructura lamina	210.000	
	Pintura	80.000	
	Soldadura	280.000	
Sistema de control			415.000
	Sensores	120.000	
	Tarjetas	80.000	
	Elementos electrónicos	175.000	

PRESUPUESTO GENERAL INCUBADORA DE HUEVOS			
	LCD	40.000	
Costos por prototipo			600.000
	Pruebas y dispositivos	650.000	
Costos por desarrollo			1.000.000
Costo total incubadora			3.500.000

De acuerdo a los resultados del cuadro 8, se puede apreciar que los costos totales del modelo de incubadora son de \$3.500.000; se debe tener presente que los costos por desarrollo y prototipo son bastante altos, lo cual encarece el desarrollo del proyecto.

El precio de los equipos comerciales que se ofrecen el mercado internacional rondan este valor; teniendo presente que se requiere sumar los gastos de envío, el equipo diseñado es competitivo en el mercado local y cumple las expectativas de los diseñadores.

Comparación económica del equipo.

Cuadro 34. Recuperación de la inversión

Tiempo incubación		21 días
Costo pollito criollo		\$2.000
Costo del huevo y la energía eléctrica por pollito	\$400 Costo pollito \$100 Costo energía	\$550
Costo incubadora		\$3.500.000
Numero pollitos pagan incubadora	{3.500.000/(2000-550)}	2420 pollitos nacidos
Producción mensual 85% eficiencia	{210 x 85%}	180 pollitos
Tiempo de pago equipo	{2420/180}	14 meses

Cuadro 35. Costo de energía por pollito

Potencia consumida	P	150 w
Potencia día	$P_{\text{día}}=P \times 24$	3600w
Potencia periodo	$P_{\text{periodo}}=P_{\text{día}} \times 21$	75.600w = 75.6 Kw
Costo de Kw/hr		\$350
Costo total energía		\$26.460
Pollitos producidos		\$180
Costo energía por pollito		\$150

El costo de un pollito criollo recién nacido dentro del mercado local es de \$2.000; si el valor de la incubadora es de \$3.500.000 se requiere producir un total de 2420 pollitos para pagar el costo total del equipo; si la producción mensual se considera de 180 pollitos, se requiere de 14 meses para pagar la inversión inicial hecha en la adquisición de la incubadora.

Además el costo de prototipo se reduce en la medida que la producción aumente ya se amortizan en cada equipo realizado por lo cual el costo del equipo tiende a disminuir de precio.

5.1 FACTORES DE INVERSIÓN

- El avicultor pueda producir su propia ave haciendo que pueda competir en el mercado con precios más bajos.
- Producción de cualquier especie de ave ya que el equipo es muy versátil en cuanto a especies.

- Alta confiabilidad y grandes posibilidades de éxito en el proceso de incubación permite la producción de polluelos en cualquier zona del país por más remota que parezca.

- Permite mejorar la productividad de los pequeños avicultores y en especial de aquellos de crianza de aves exóticas.

- Permite ofrecer diversas gamas de incubadoras para todo tipo de inversionistas.

6. ANÁLISIS CAD - CAE

A continuación se da una breve descripción del equipo, con planos de los diferentes elementos diseñados, además se hace la simulación del comportamiento mecánico de estos con sus respectivas cargas, así como el comportamiento térmico del equipo realizado en Ansys CFX; dicho procedimiento se realizó con el fin de corroborar por medio del software el comportamiento de las piezas más críticas y costosas del equipo.

6.1 SIMULACION ESFUERZOS MECÁNICOS

El reductor sin fin corona por tratarse de un elemento costoso y sometido a altas cargas dentro del equipo, es indispensable la simulación del comportamiento físico con el objetivo de tener mas seguridad de su desempeño.

A continuación se muestran los resultados del análisis en ansys workbench de la corona y el tornillo por separado, y montados en un solo conjunto, así como del eje principal de la estructura de volteo.

(Ver siguientes figuras).

Figura 50. Deformación total del tornillo

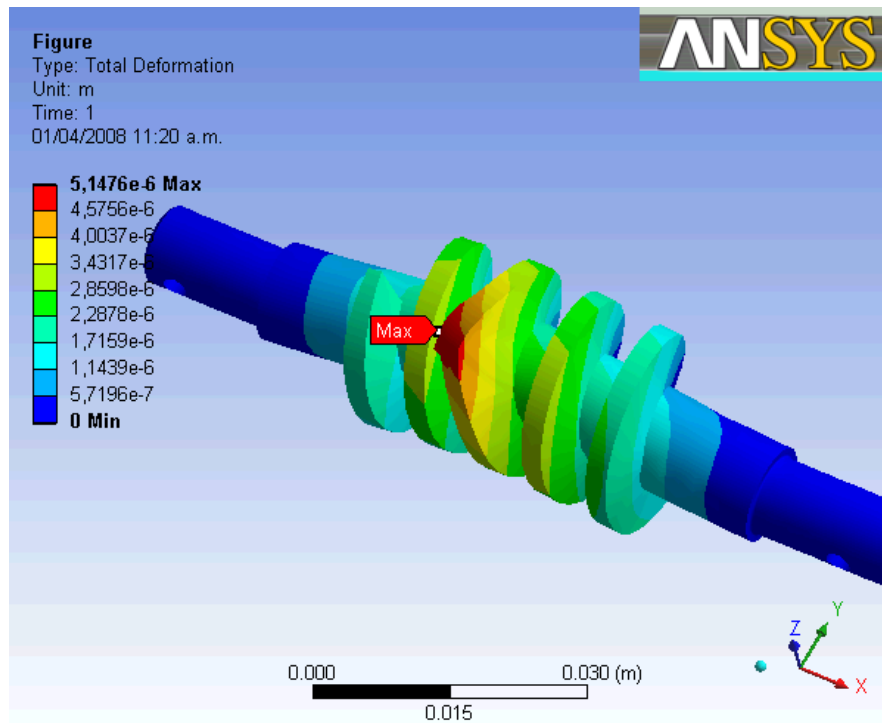


Figura 51. Esfuerzos equivalentes en el tornillo

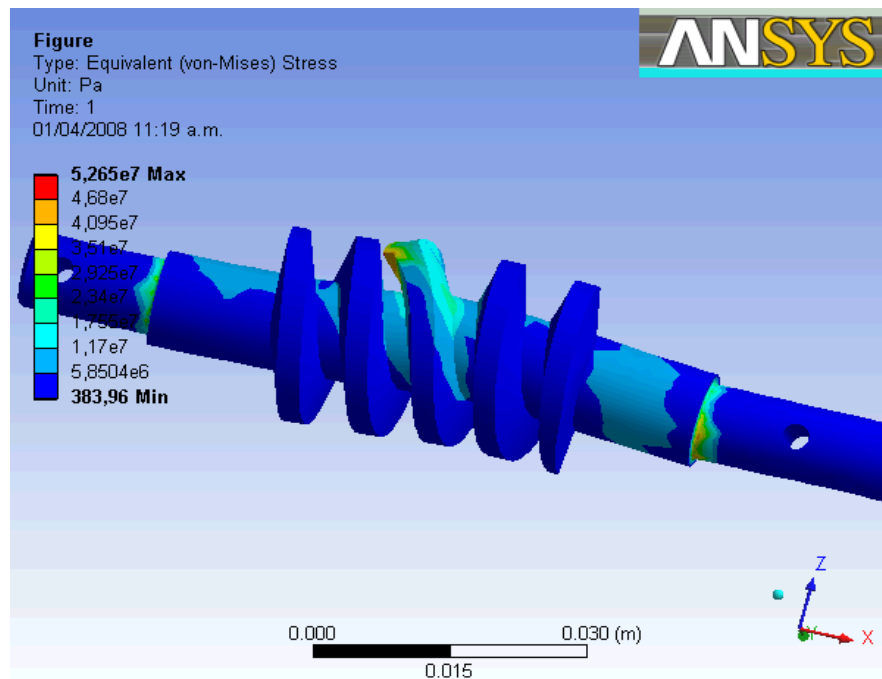


Figura 52. Factor de seguridad en el tornillo

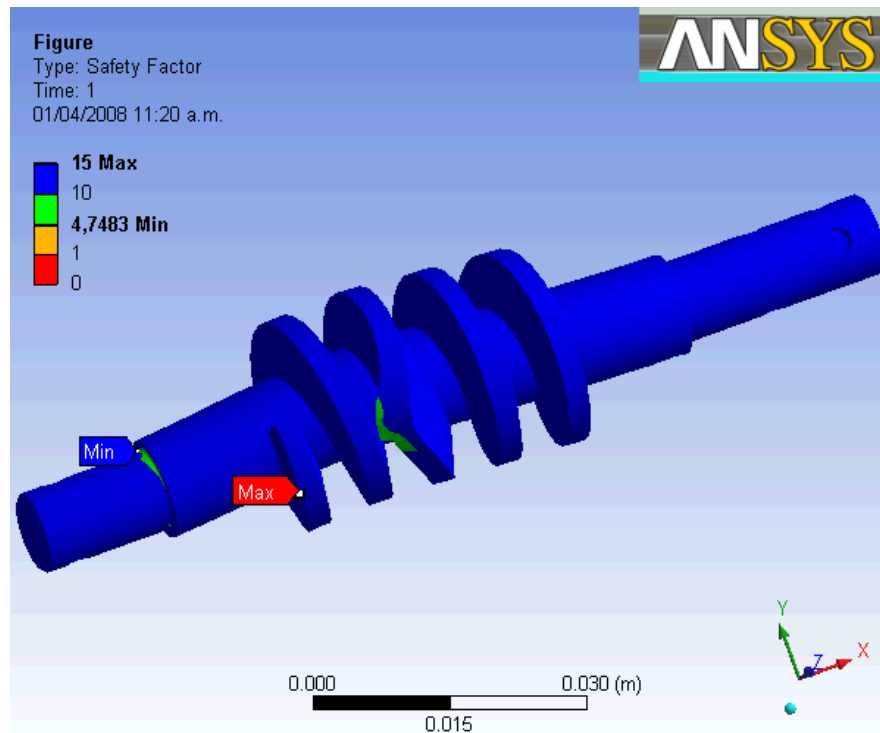


Figura 53. Deformación total de la corona y el eje

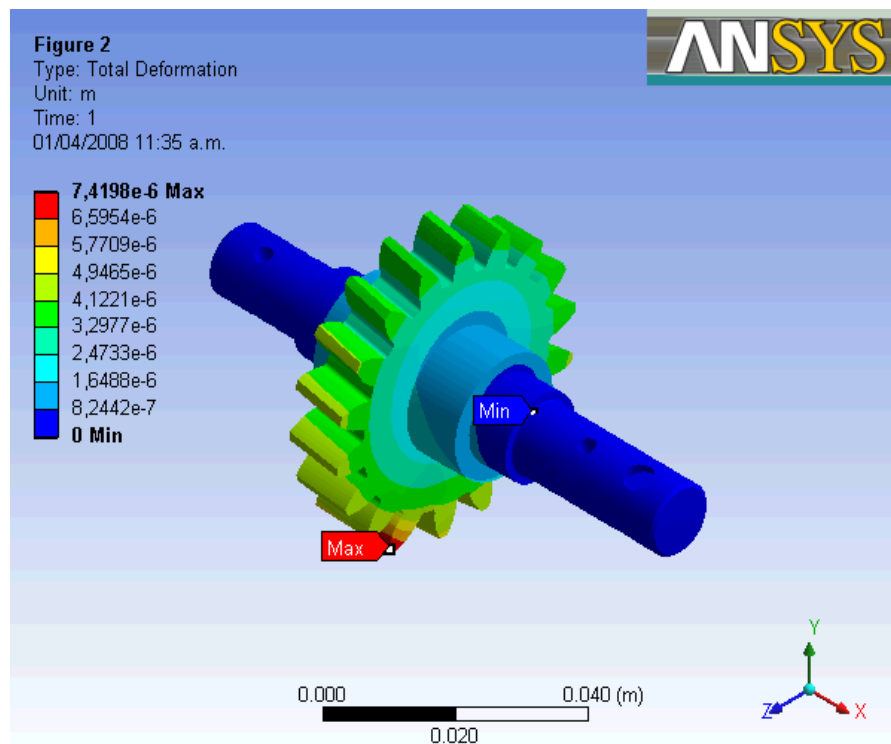


Figura 54. Deformación total de la corona

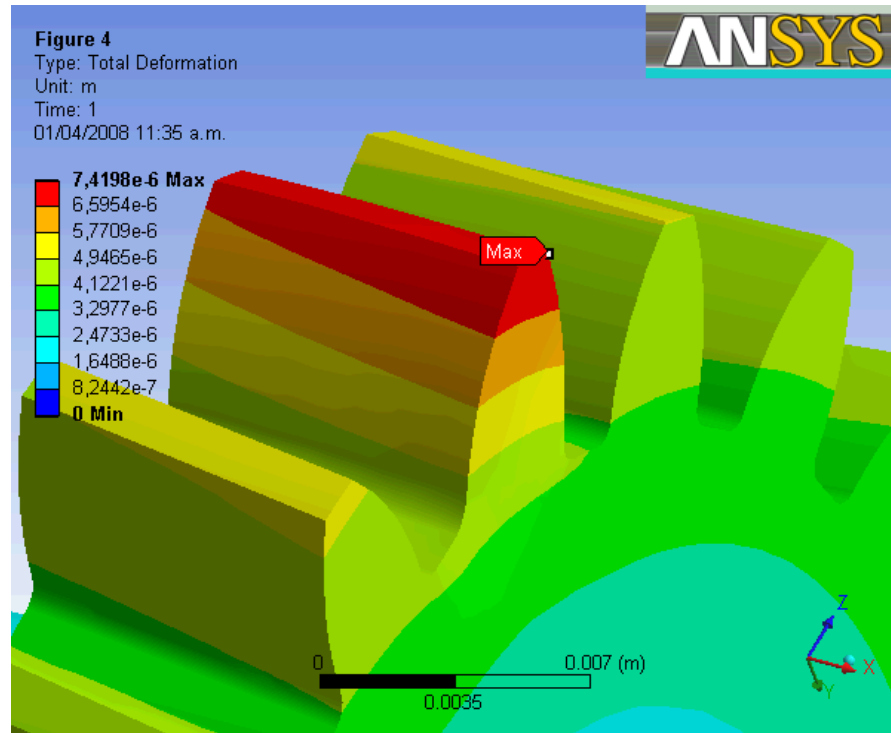


Figura 55. Factor de seguridad de la corona

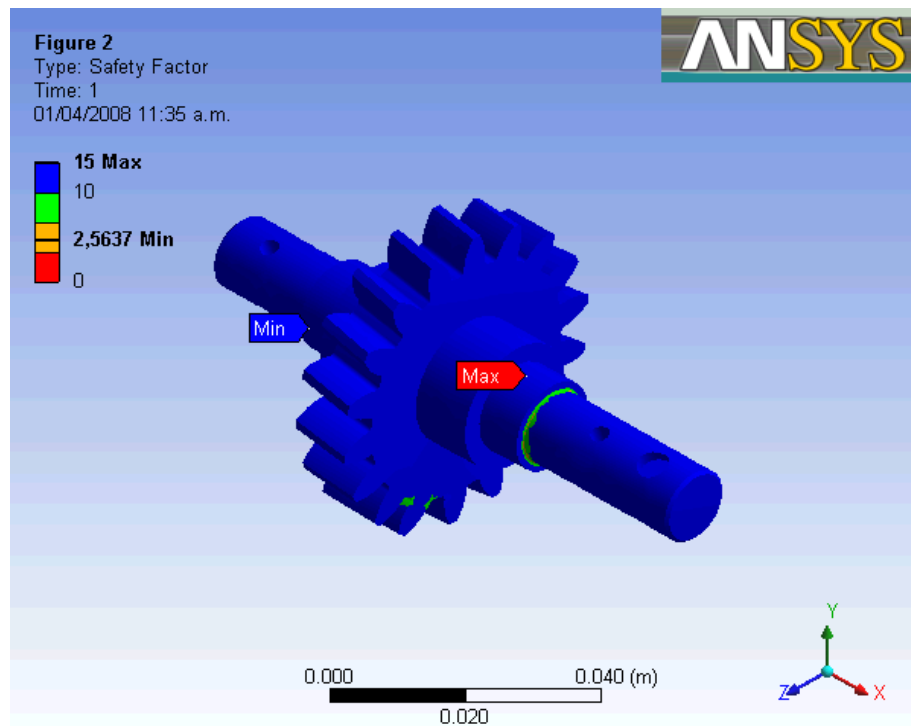


Figura 56. Esfuerzos en el conjunto corona y tornillo

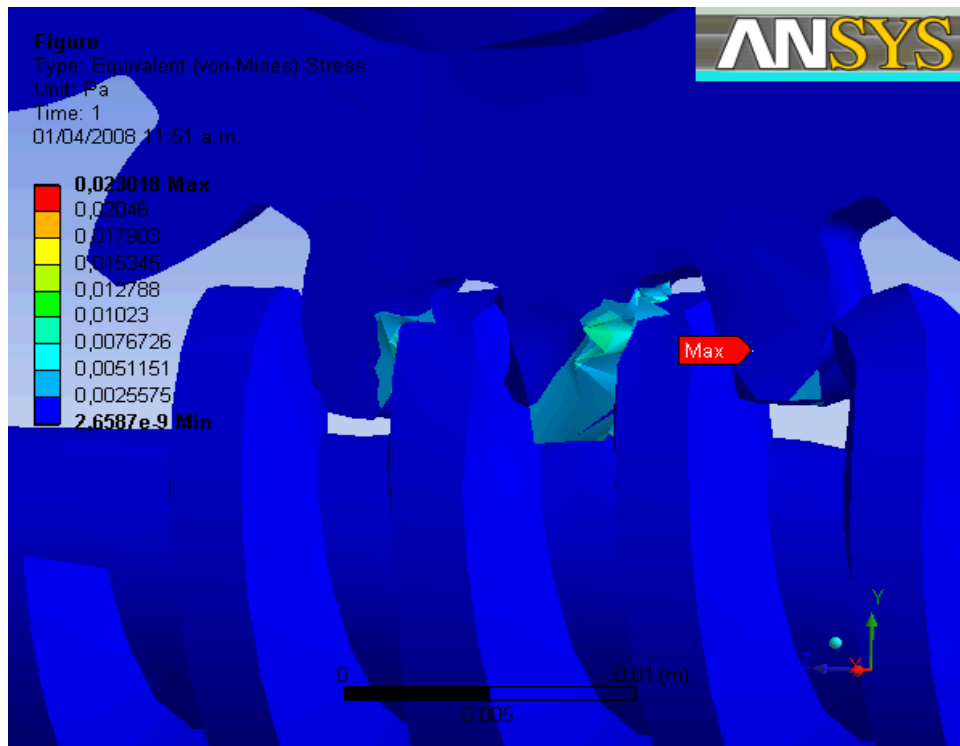
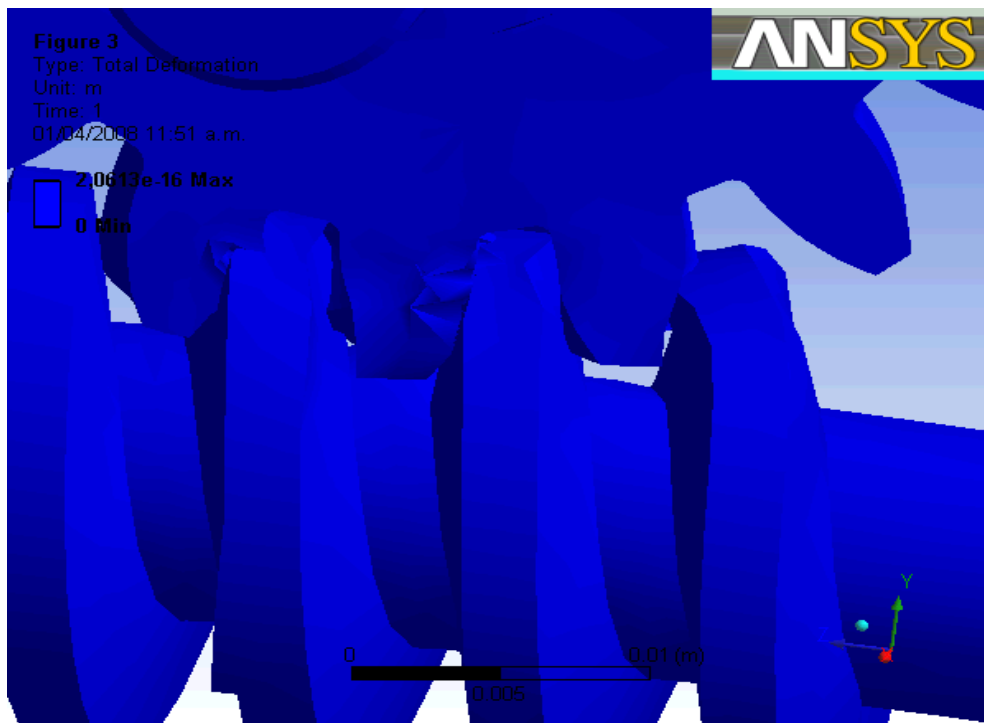


Figura 57. Deformaciones en el conjunto corona y tornillo

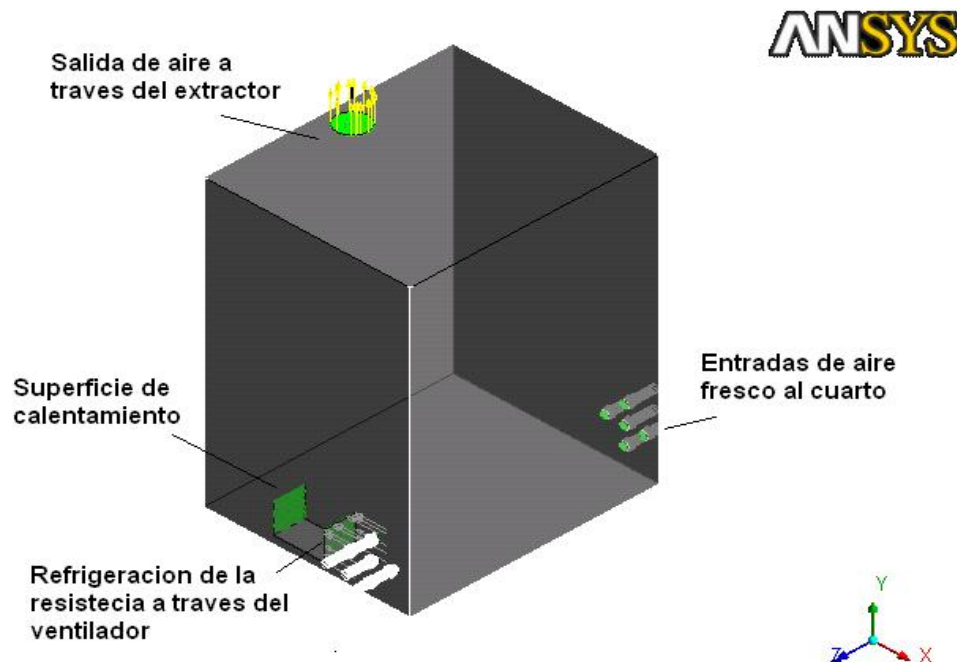


6.2 SIMULACIÓN ESFUERZOS TÉRMICOS

Por tratarse de un equipo sometido a calentamiento y humidificación en el interior, se optó como una de las alternativas de solución para el calentamiento al interior del cuarto, realizar la simulación virtual utilizando el software Ansys 11.0 CFX, en el cual se disponen todas las condiciones a las cuales está sometido el equipo y se analiza la distribución de temperaturas en su interior.

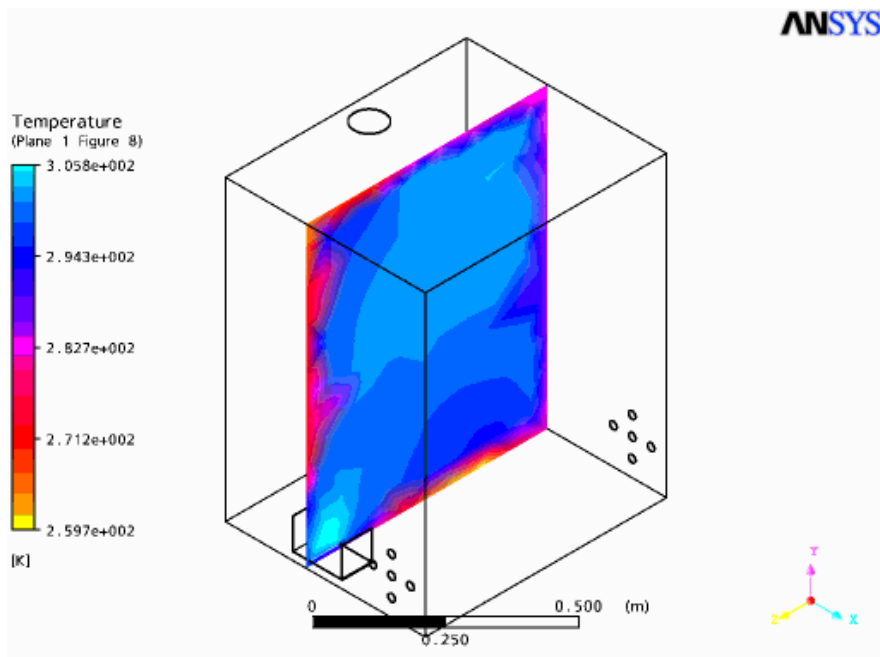
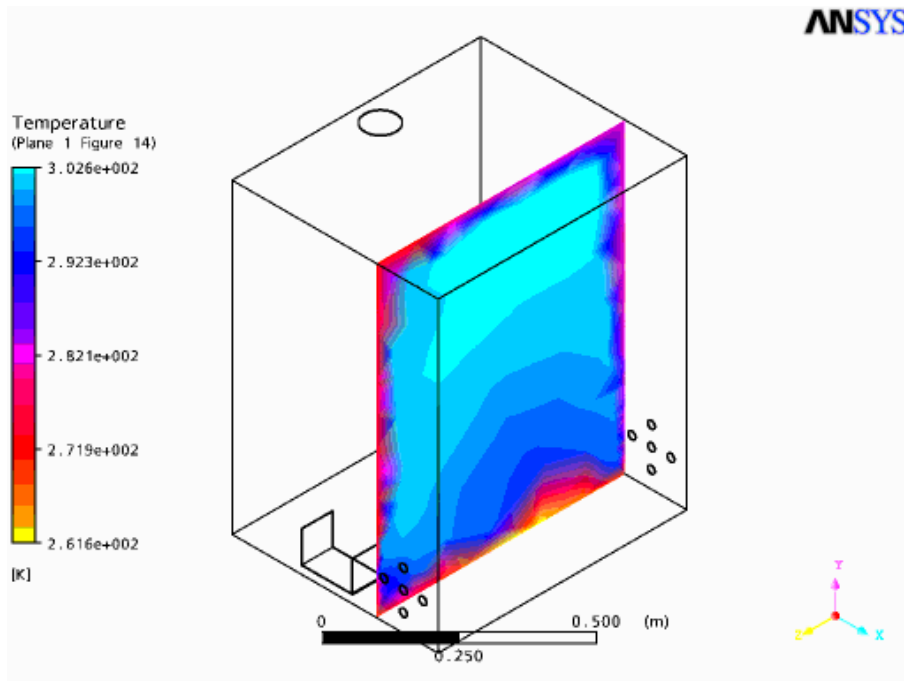
En este caso, según muestra la figura las condiciones que se colocaron han sido un elemento de calentamiento – resistencia eléctrica – y sobre ella incide un corriente de aire proveniente del ventilador a una velocidad de 1.5 m/s; en la parte superior una salida de aire a la misma velocidad que el anterior producido por el extractor y una corriente suave de entrada de aire a temperatura ambiente a través de los orificios laterales.

Figura 58. Modelamiento simulación

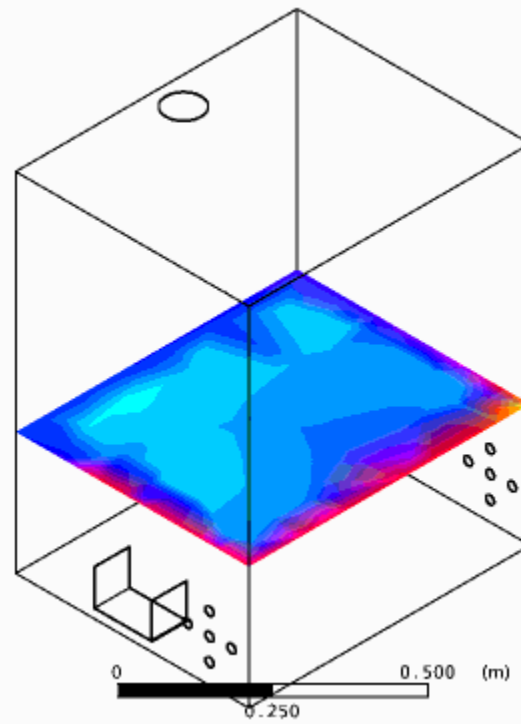
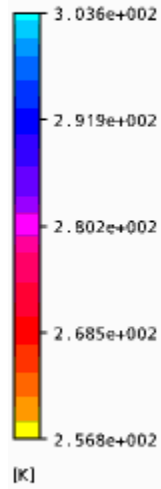


Los resultados que se obtuvieron se muestran en las figuras siguientes donde se grafica la temperatura – con su respectiva escala de temperatura – y la velocidad del aire en la ultima imagen.

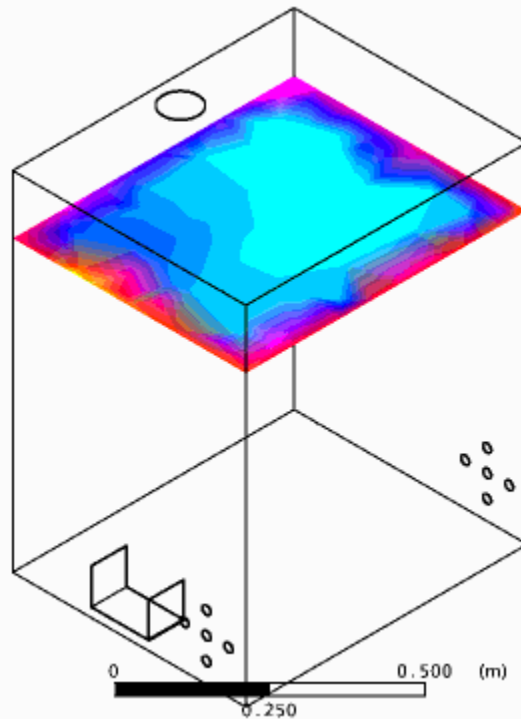
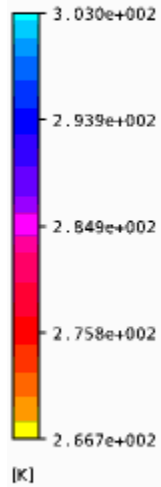
Figura 59. Modelamiento y simulación en ANSYS



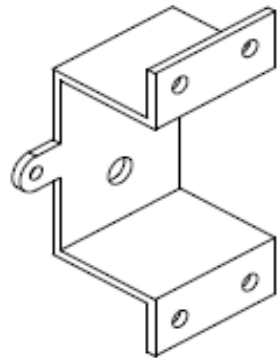
Temperature
(Plane 1 Figure 32)



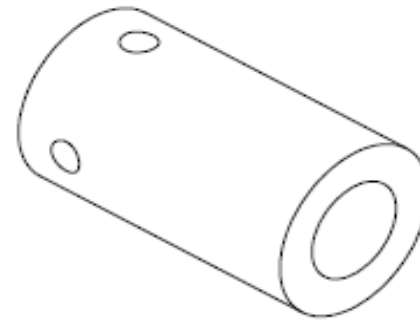
Temperature
(Plane 1 Figure 38)



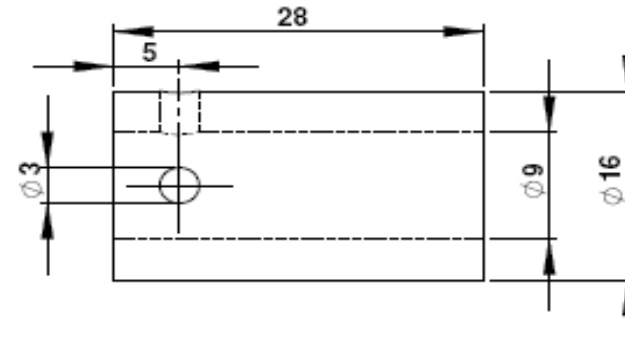
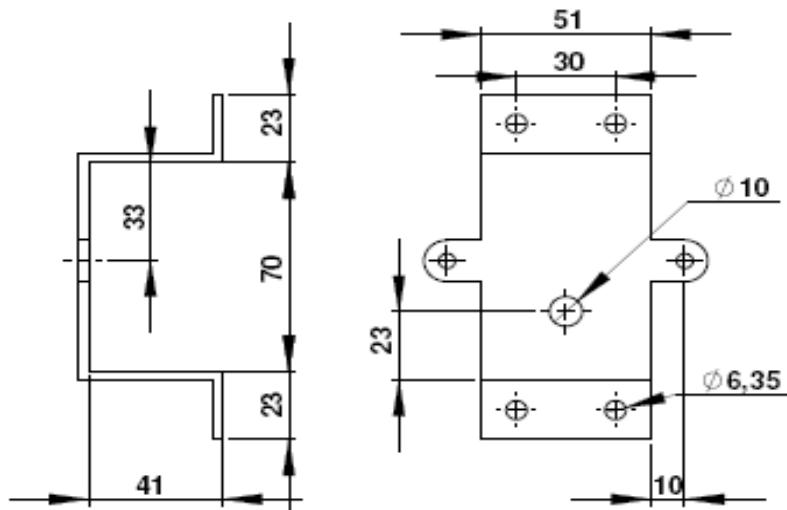
6.3 PLANOS



ESTRUCTURA
MOTOR
ESCALA 1:2

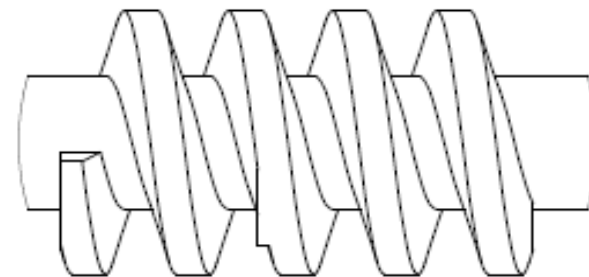
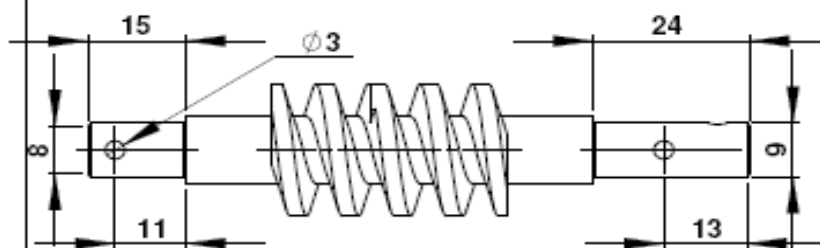
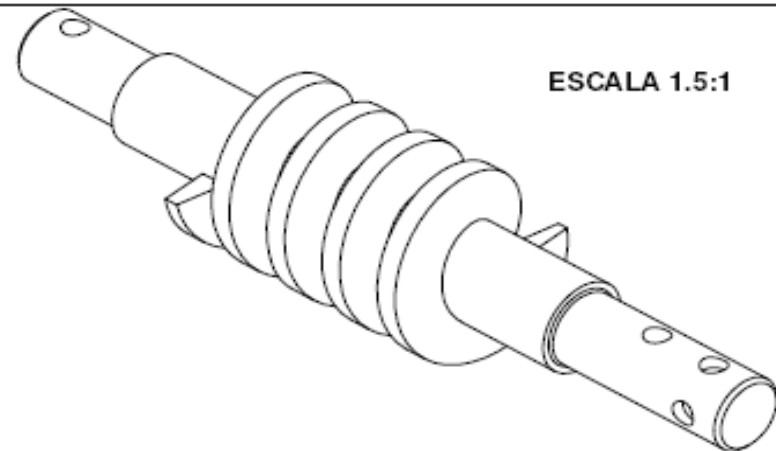


ACOPLE MOTOR
REDUCTOR
SIN FIN CORONA
ESCALA 1:2

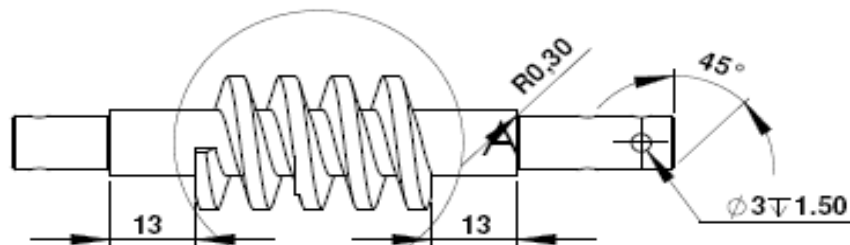


TITULO SOPORTE MOTOR ACOPLE MOTOR REDUCTOR		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 01
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

TORNILLO SIN FIN
 Z = 1 ENTRADA
 $P_c = 5/16" = 7.9375 \text{ mm}$ (Paso Circular)
 Angulo de helice = 8.319°
 $D_t = 17 \text{ mm}$ diametro primitivo
 $D = 22 \text{ mm}$ Diametro externo



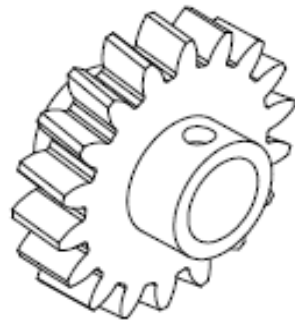
DETALLE A
 ESCALA 2:1



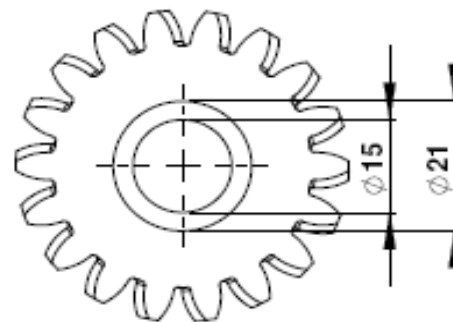
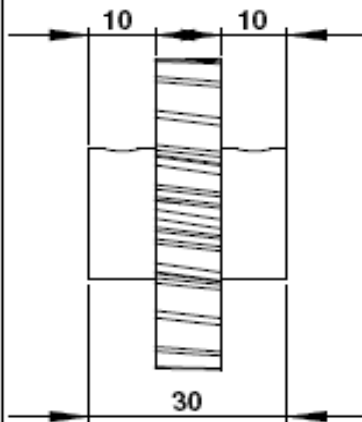
ESCALA 1:1

TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
TORNILLO SIN FIN		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 02
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

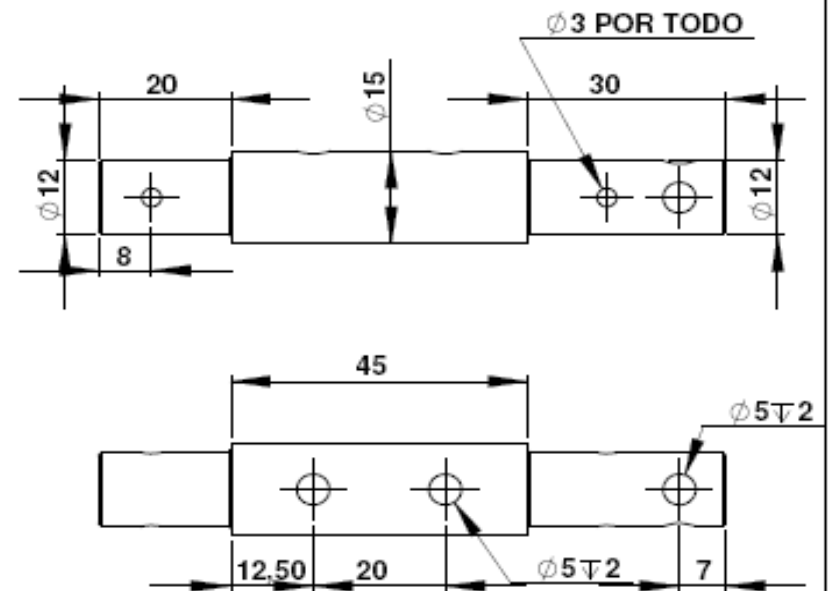
CORONA
Z = 18 DIENTES
m = 2.5 (MODULO)
ANGULO HELICE = 8.319°
DIRECCION HELICE = MANO DERECHA
ANGULO PRESION = 20°
MATERIAL = FUNDICION
DIAMETRO EXTERNO = 50.52 mm



CORONA
ESCALA 1:1

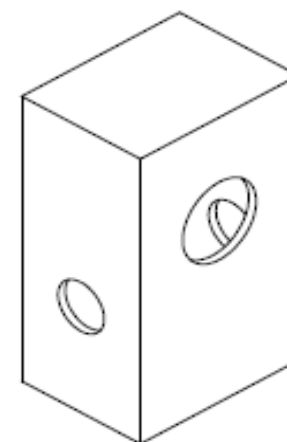
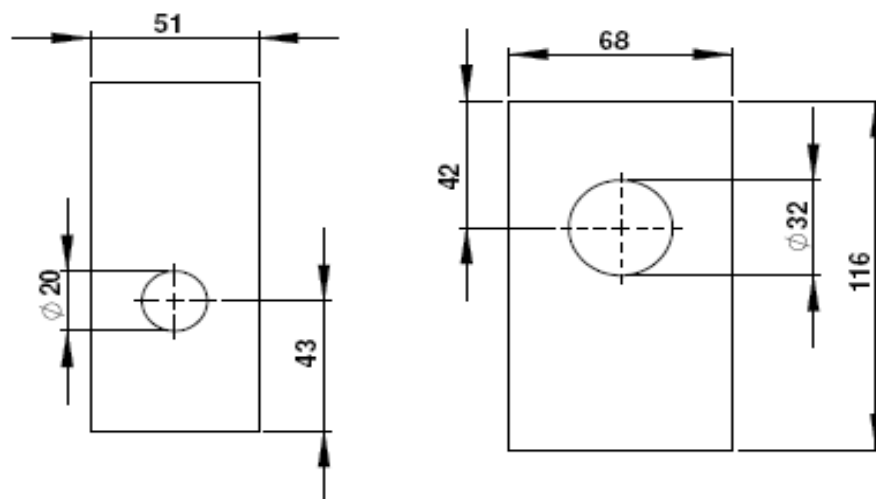


EJE CORONA
ESCALA 1:1

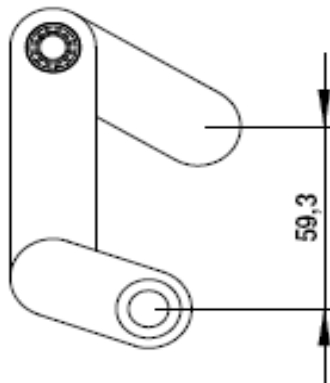
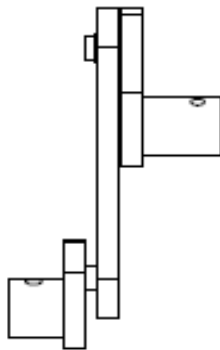
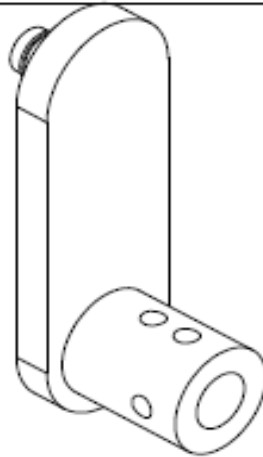
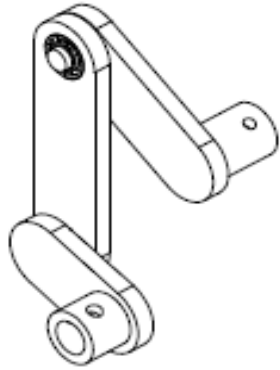


TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
CORONA		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 03
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

BASTIDOR REDUCTOR
ESCALA 1:2

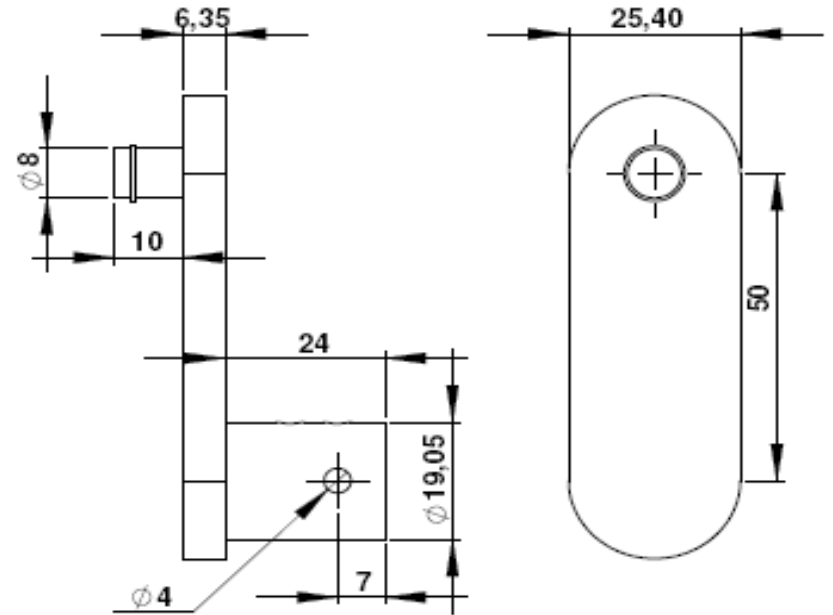


TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
BASTIDOR REDUCTOR		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 04
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

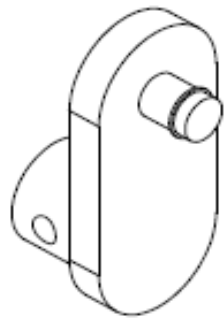


**MECANISMO DE BARRAS
ESCALA 1:2**

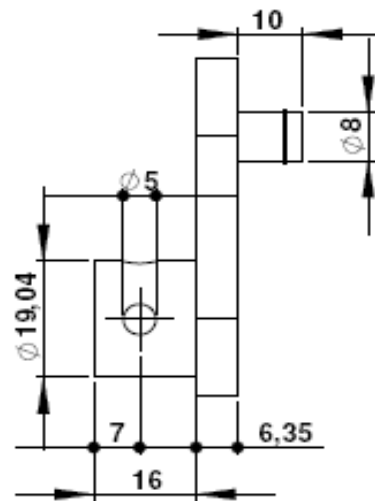
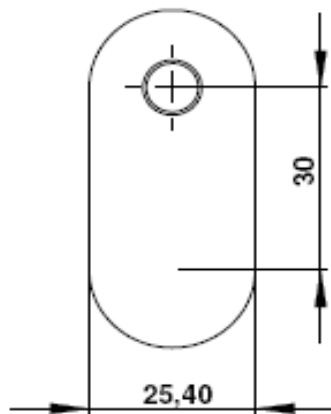
**BALANCIN
MECANISMO DE BARRAS
ESCALA 1:1**



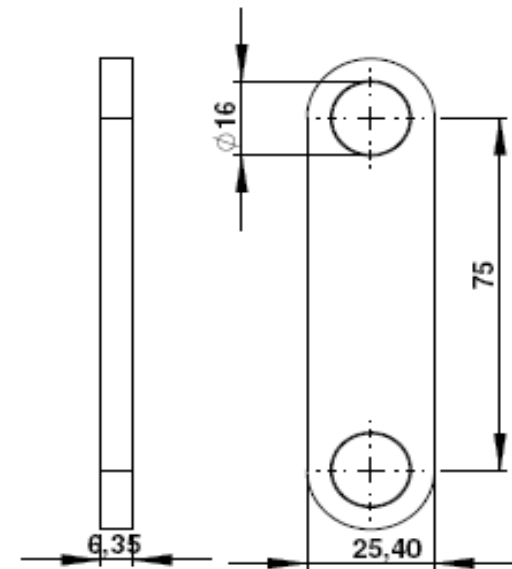
TITULO BALANCIN		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 05
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA



MANIVELA
MECANISMO DE BARRAS
ESCALA 1:1

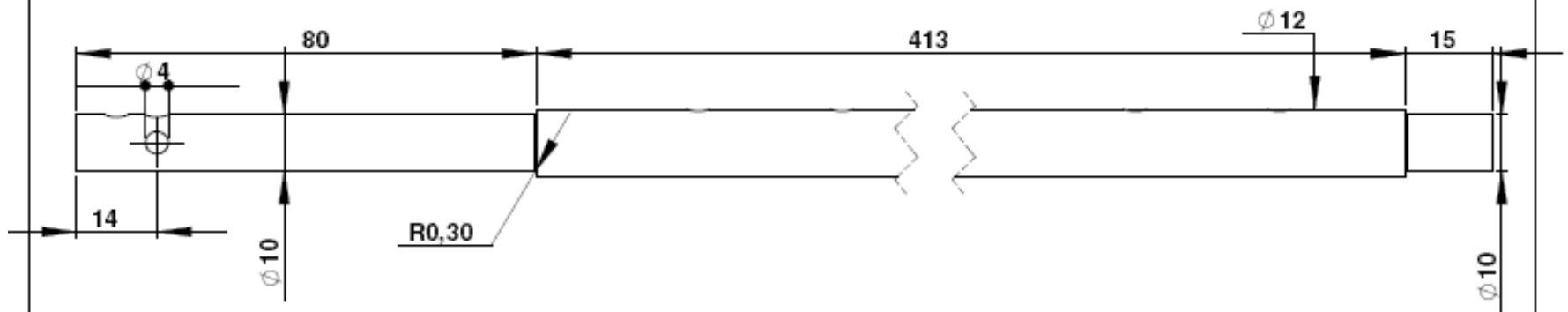


BIELA
MECANISMO DE BARRAS
ESCALA 1:3



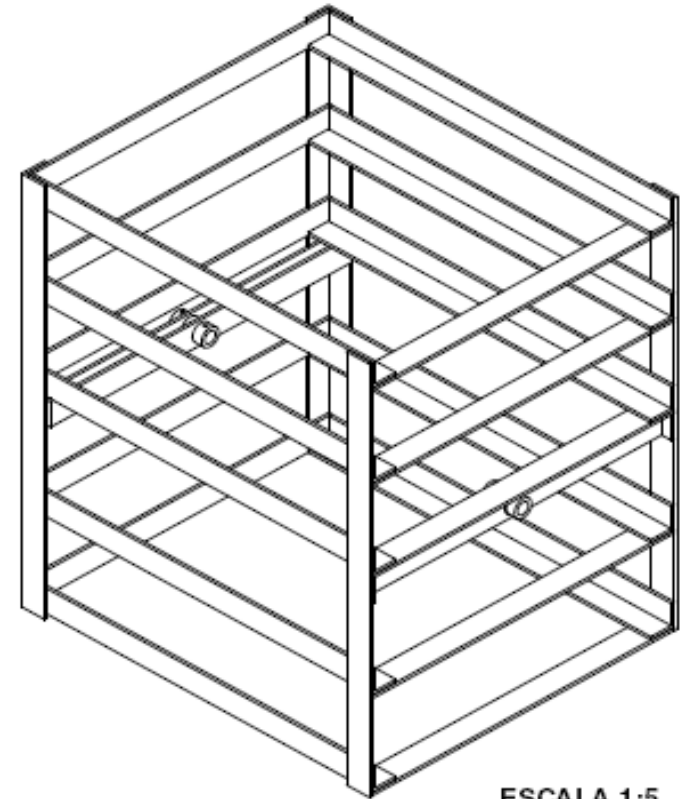
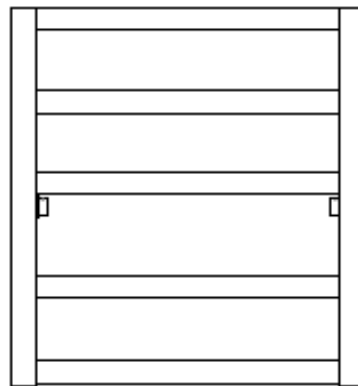
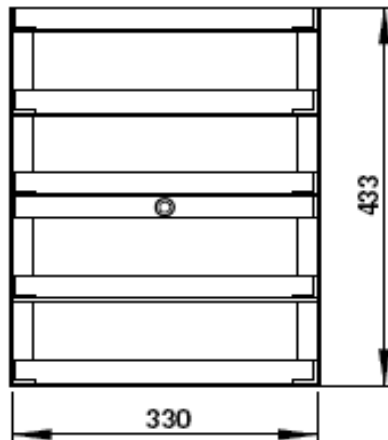
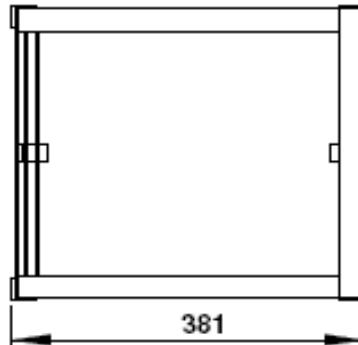
TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
MANIVELA Y BIELA		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 06
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

EJE PRINCIPAL
ESCALA 1:2



TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
EJE PIVOTE		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 07
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

ESTRUCTURA PORTABANDEJAS
ESCALA 1:7



ESCALA 1:5

TITULO

**ESTRUCTURA
PORTABANDEJAS**

**UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE
SANTANDER
INGENIERIA
MECANICA**

DIBUJO

JAIRO JIMENEZ

NUMERO PLANO

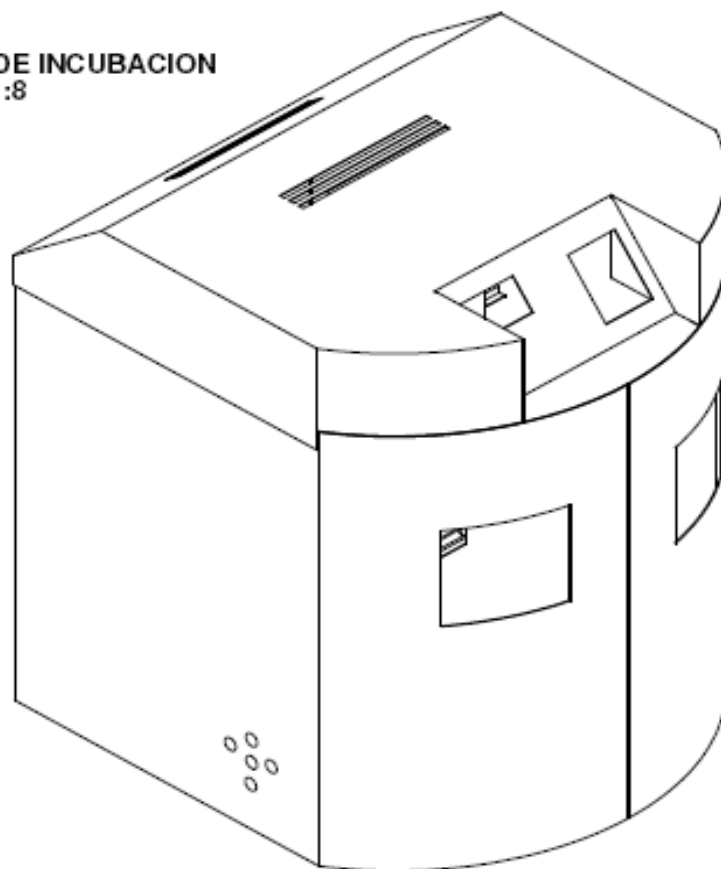
1 00 - 08

FECHA

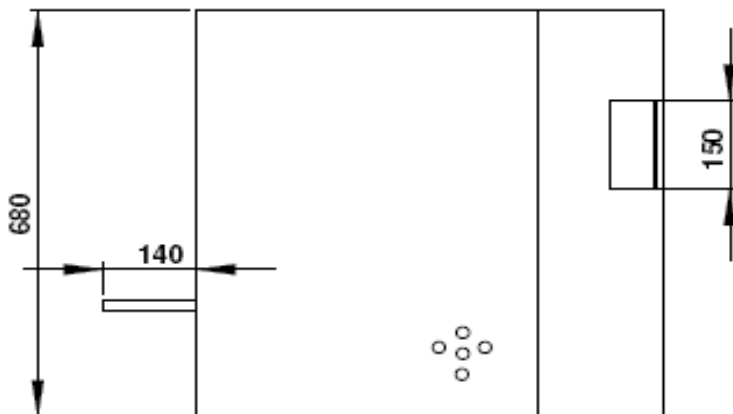
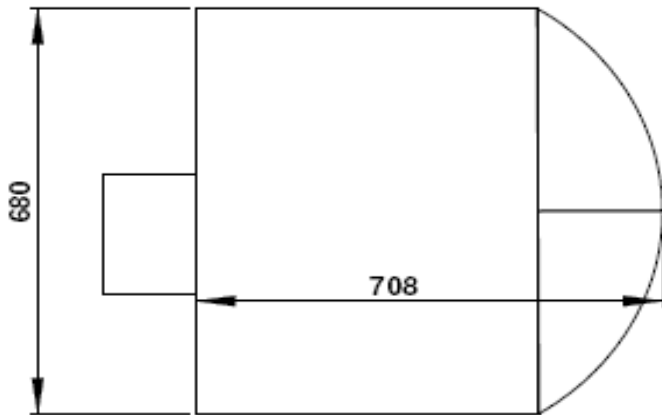
JULIO 12 2.008

ESCALA

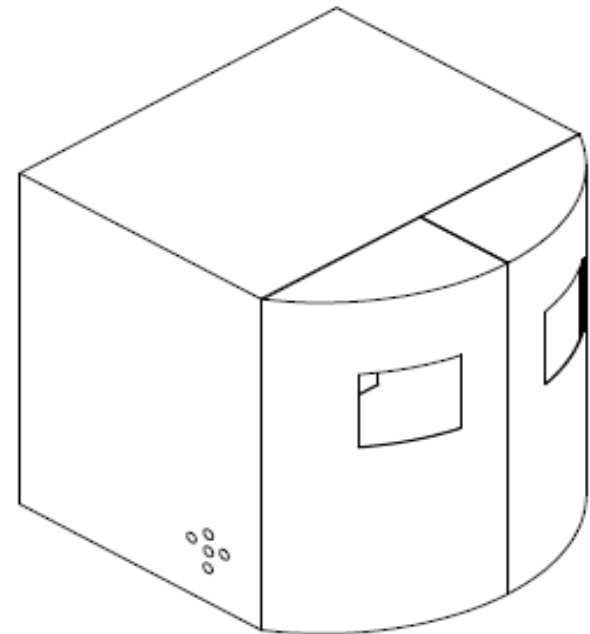
**CUARTO DE INCUBACION
ESCALA 1:8**



TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
ISOMETRICO INCUBADORA		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 14
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

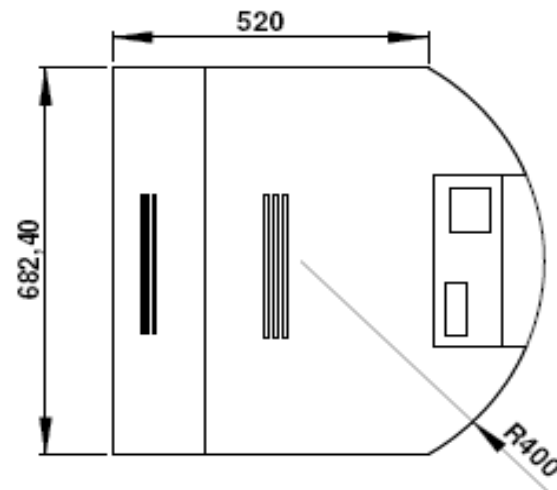
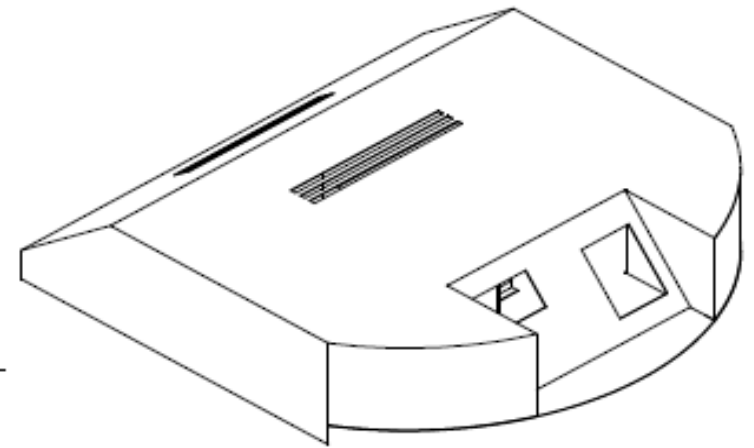
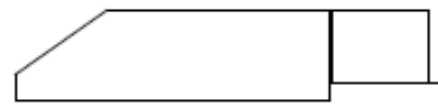
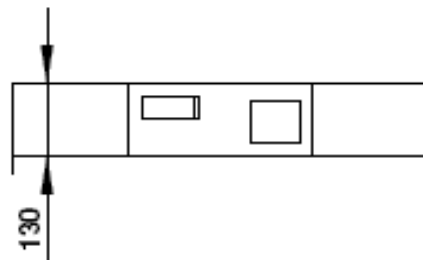


CUARTO
ESCALA 1:10



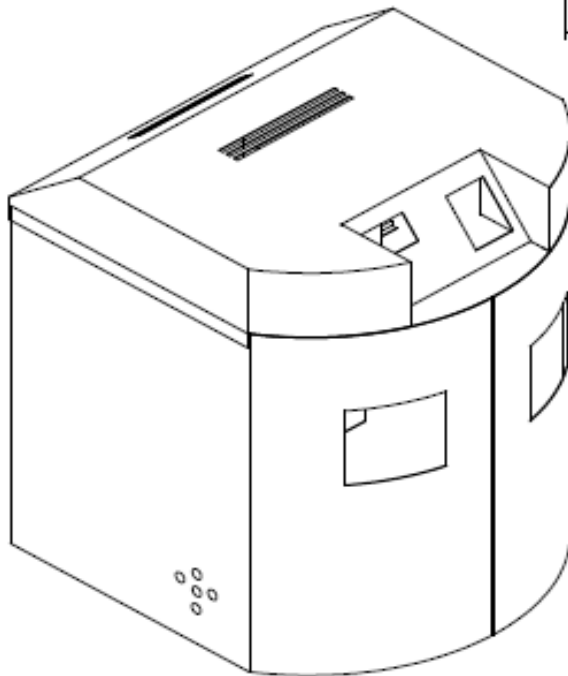
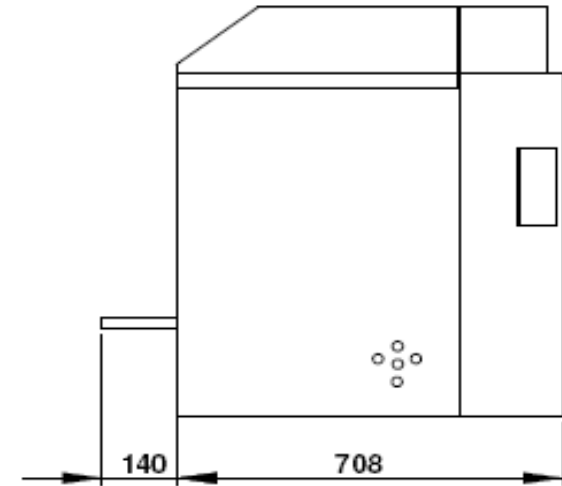
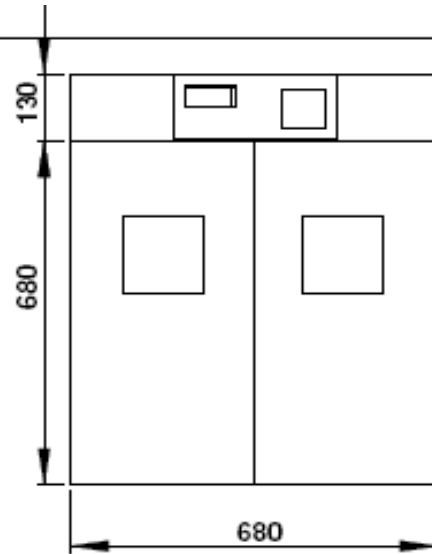
TITULO		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
CUARTO INCUBACION		
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 13
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

PANEL DE CONTROL
ESCALA 1:11



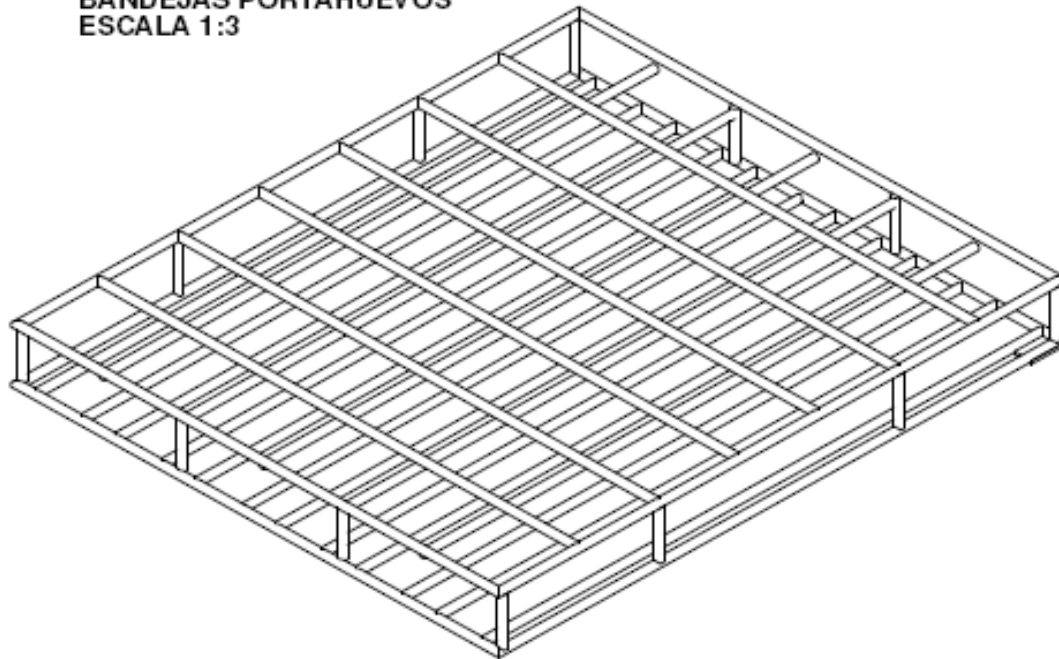
TITULO PANEL DE CONTROL		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 12
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

CUARTO DE INCUBACION
ESCALA 1:12

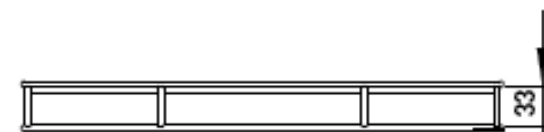
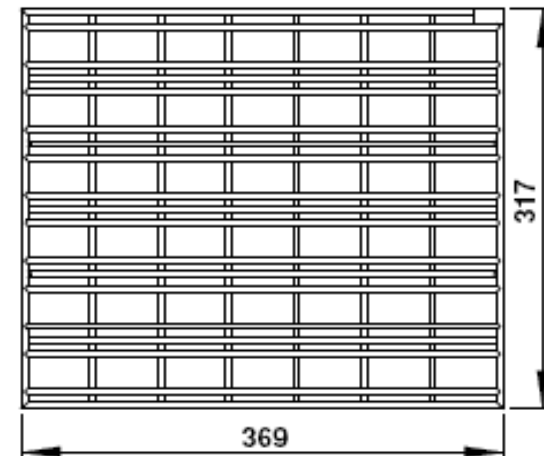


TITULO INCUBADORA		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 11
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

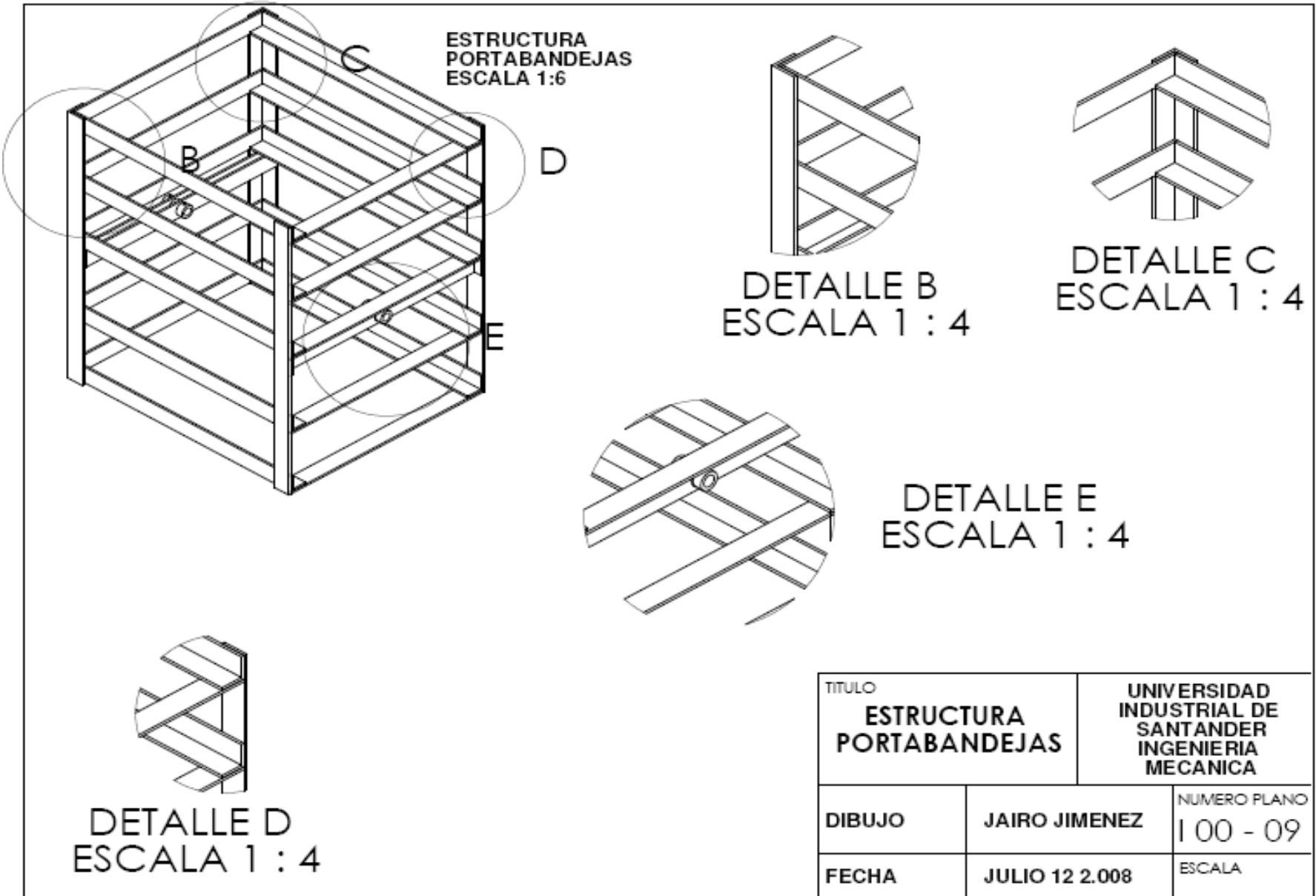
BANDEJAS PORTAHUEVOS
ESCALA 1:3



ESCALA 1:5



TITULO BANDEJAS PORTAHUEVOS		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 100 - 10
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA



ESTRUCTURA
PORTABANDEJAS
ESCALA 1:6

DETALLE B
ESCALA 1 : 4

DETALLE C
ESCALA 1 : 4

DETALLE E
ESCALA 1 : 4

DETALLE D
ESCALA 1 : 4

TITULO ESTRUCTURA PORTABANDEJAS		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER INGENIERIA MECANICA
DIBUJO	JAIRO JIMENEZ	NUMERO PLANO 1 00 - 09
FECHA	JULIO 12 2.008	ESCALA

CONCLUSIONES

Los objetivos planteados en la realización de este equipo, la MFI-01, se cumplieron, ya que logramos con éxito el proceso de incubación y pudimos dar vida a los pollitos, lo cual era la idea primordial de construcción de la incubadora. El equipo durante todo el período de incubación se comportó como se había planeado, no se presentaron anomalías durante la operación, ni existió la necesidad de hacer reparaciones de último momento, a pesar de que la incubadora estaba diseñada para soportar problemas de diversas índoles tales como baja humedad durante largos períodos de tiempo y temperaturas superiores a 39°C.

Durante la prueba de incubación realizada la MFI-01 logro una eficiencia del 75%, encontrándose dentro de los rangos manejados a nivel industrial, los cuales están entre 70% - 90%.

En la industria de incubación, las empresas ofrecen equipos que presentan en promedio 250W de consumo, así como también bajo grado de automatización en las variables de temperatura y volteo. Nuestro equipo consume 30% menos de energía y presenta un alto grado de automatización en las variables temperatura, humedad, volteo, así como también visualización del tiempo de incubación en días.

El sistema de control desarrollado, calefacción y humidificación de la MFI-01, es de fácil implementación para incubadoras de cualquier capacidad que impliquen los mismos requerimientos que para la incubadora diseñada; en general este sistema de control puede ser utilizado para cualquier proceso que requiera control de temperatura y humedad simultáneo.

El diseño de la MFI-01 hace que las variables de temperatura y humedad ambiental no influyan drásticamente en el proceso, haciendo que se ejerza un mejor control sobre estas en la incubadora.

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

Una de las grandes razones que me motivaron a la realización de este proyecto de grado, fue la búsqueda de soluciones a uno, entre los mas variados problemas que existen en la agricultura santandereana, donde a pesar del desarrollo tecnológico a nivel mundial, la explotación agrícola en el país aún esta muy retrasada debido a los altos costos de adquisición de tecnología, aportar parte de nuestro conocimiento a la búsqueda de soluciones específicas agranda nuestra satisfacción profesional y personal.

Con el desarrollo de este tipo de proyectos en los que uno como estudiante trata de dar soluciones a problemas reales de la vida cotidiana, demuestra que la ingeniería mecánica y electrónica abarca los más diversos campos de aplicación general, en donde es posible ofrecer excelentes soluciones económicamente viables.

En proyectos donde existe diseño y construcción como el presente, se generan ideas innovadoras a problemas de montaje, costo de materiales, tiempos de entrega de productos, evaluación de costos, transporte, etc; ya que aunque aparentemente no parezca, la construcción de un equipo es una labor bastante compleja por todas aquellas situaciones que se presentan, que atrasan la construcción que muchas veces durante el diseño no se consideran. La verdadera experiencia de un ingeniero se ve reflejada en su capacidad de anticiparse a los posibles problemas que puedan ocurrir durante el proceso de fabricación y buscar una excelente solución en el proceso de diseño.

En la Universidad se debe hacer más promoción de proyectos de grado en los cuales se conformen equipos multidisciplinarios para que los estudiantes tengan así un acercamiento real al trabajo en equipo en el desarrollo de proyectos, como preámbulo a su ejercicio profesional en la sociedad.

La universidad debe promocionar más proyectos de grado enfocados al sector agropecuario teniendo presente que este es el sector menos explorado tecnológicamente en Colombia.

BIBLIOGRAFIA

[1] **CAICEDO, Jorge A.** Diseño de elementos de maquinas. Teoria y practica, Tomo II Cali, Colombia, Universidad del valle. 1984, 855 p.

[2] **CENGEL, Yunus A.** Termodinamica, 4ta Edición, México, Mc Graw Hill, 2002, 648 p.

[3] **ROJAS GARCÍA, Hernán,** Diseño De Máquinas II; Bucaramanga, Ediciones Universidad Industrial de Santander, 1984.

[4] **DEUTSCHMAN, Aaron,** Diseño de Máquinas: Teoría y Práctica, 6ta Reimpresión, México, Compañía Editorial Continental S.A., 1995.

[5] **JUVINALL, Robert C.,** Fundamentos de Diseño para Ingeniería Mecánica, México, Limusa Noriega Editores, 1993, 821p.

[6] **ROJAS GARCÍA, Hernán,** Trenes de Engranajes; Mecánica de Máquinas, Bucaramanga, Ediciones Universidad Industrial de Santander, 1984.

[7] **MELGAREJO,** Moreno Pablo. Aislamiento cálculo y construcción de cámaras frigoríficas. España: A. Madrid Vicente Ediciones.

[5] **CLIVE,** L. Dym. El proceso de diseño en ingeniería. México: Limusa Wiley 2002

[6] **Asociación Nacional de Avicultores de Honduras "ANAVIH".** Control y Manejo del Calor en las Aves de Carne [Tegucigalpa. Honduras] 2.004
Extraído de Internet: <URL:<http://www.anavih.org/publicaciones/21->

edicion/articulo-tecnico.html>

[7] **WALKER, Carol.** Relative humidity, and important environmental measurement. fourth edition. Alabama: editorial Barnes, 2001.

[8] **KAROL armando g, & Enyerlook F, luis.** (2007) Diseño y construcción de un prototipo para medición y detección de humedad relativa, tesis de grado [bucaramanga, Santander] Universidad industrial de Santander.

[9] **CENTRO DE LA TECNOLOGÍA Y DE LA INCUBACIÓN ORIENTADA AL FUTURO.** Sistemas de incubación (s.f) : Disponible en Internet: <http://www.pasreform.com/spanish/index.htm>.

[10] **HOBBY OF ELECTRONIC CIRCUIT ENGINEERING,** [citado en 18 de diciembre de 2005] Disponible en Internet: http://www.interq.or.jp/japan/seinoue/e_sonic1_3.htm

[11]Freescale Semiconductor “**Designing for Board Level Electromagnetic Compatibility**” Freescale Semiconductor, Inc 2002. 36p

[12] **SEDRA,** Adel S. y **SMITH** Kenneth C. **Circuitos Microelectrónicos.** Oxford University Press. 1999, 1232 p.

ANEXOS

Anexo A. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA INCUBADORA

MANUAL DE OPERACIÓN DEL EQUIPO

○ El equipo debe estar ubicado en un lugar libre de corrientes de aire, heladas, expuesto al aire libre, al sol directo, lluvia o tormentas.

No colocar el equipo en las noches a la intemperie, evite daños al equipo, tales como defectos estructurales, daño unidad motriz, aumento consumo de energía, oxidación y corrosión de los componentes, etc.

○ La distribución de los huevos en el caso de que el equipo no se llene por completo debe ser uniforme y en lo posible simétrico, es decir coloque la misma cantidad de huevos a la derecha e izquierda del punto de pivote así como igual cantidad arriba y abajo de dicho punto; esto evitara daños estructurales graves o recalentamiento y daño definitivo del motor.



ATENCIÓN

Si va a incubar pocos huevos nunca coloque todos en una sola bandeja, distribúyalos a través de las bandejas, por lo menos utilice dos, esto evitara daños estructurales graves, consumo de energía excesivo y perdidas en su producción.

Recomendaciones para lograr el éxito de la incubación

◆ Los reproductores, tanto el macho como la hembra debe ser de la mejor raza de reproducción, animales jóvenes, sanos, fuertes, bien alimentados y aislados de las enfermedades aviares.

- ◆ Mantener las condiciones ambientales dentro de los galpones en valores estables, permite reducir los niveles de estrés de las aves y aumentar el numero de postura
- ◆ Los huevos a incubar deben recogerse con una frecuencia de 4 - 5 veces por día, esto evita la contaminación y la ruptura de los huevos en el nido.
- ◆ La conservación de los huevos se realiza en una sala o cámara destinada a tal efecto, que señala que una temperatura entre 10 y 17 °C; humedad relativamente 70 y 80 % y hasta un 85 % con mas de diez días no se utilizan para incubar. Si es inevitable un almacenamiento prolongado, la temperatura se situara en el nivel más alto.
- ◆ Los huevos almacenados más de 14 días, ya comienza a perder incubabilidad hasta en un 4 % a partir del cuarto día. Los huevos de gallinas jóvenes se podrán conservar mas tiempo que los de gallinas viejas.
- ◆ La temperatura es el factor mas importante que interviene en la incubación artificial ya que este influye en el tamaño del huevo, ya que al aumentar la temperatura ambiental el tamaño del huevo disminuye, la temperatura ambiental confortable para las aves varía entre los 18.0 y los 25.0.
- ◆ Existen recomendaciones para a selección de los huevos a incubar dentro de las cuales se tienen:
 - ♥ Ponedoras sanas, maduras y desarrolladas
 - ♥ Adsequibilidad al gallo
 - ♥ Aves sin consaguinidad
 - ♥ Evitar huevos excesivamente grandes y muy pequeños
 - ♥ Evitar huevos con la cáscara rota o agrietada
 - ♥ Evite huevos deformes

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

El mantenimiento del equipo de incubación es sencillo solo debe estar atento a ciertas recomendaciones que mantendrán el equipo en perfecto funcionamiento.

- El reductor de velocidad debe ser lubricado con grasa, con el fin de mantener una película de lubricante siempre actuando en el punto de contacto **NO UTILIZE ACEITE** ya que este escurre y se pierde fácilmente produciendo derrames, manchas y falta de lubricante en el reductor. En lo posible aplique solo una pequeña cantidad sobre la corona, evite el exceso ya que esto acarrea polvo y suciedad. Revise frecuentemente el reductor (cada 3 meses) y verifique su buena operación. Tape correctamente el reductor y evite la entrada de polvo al mecanismo.
- Evite colocar el equipo en cuartos muy calientes ya que esto acarrea recalentamiento del motor y daño permanente.
- Los rodamientos del equipo han sido diseñado para gran cantidad de horas en operación, solo debe lubricarlos con una mínima cantidad de aceite (3 meses). Evite mojarlos ya que el aceite que el lubricante en su interior se deteriora y causa daños irreparables. El recambio de los rodamientos es sencillo, en la estructura solo debe desmontar las vigas de soporte y con extractor fácilmente se pueden sacar; los rodamientos del reductor necesitan un poco más de herramienta especializada.
- El motor es muy resistente a fluctuaciones de carga, pero en lo posible no debe exponerse a cambios bruscos de temperatura, no lo moje cuando este conectado a la fuente de electricidad y evite el recalentamiento del mismo. Para el recambio del motor solo debe quitar el motor dañado, extraer

el núcleo del eje del motor, doblar las pestañas en el extremo del motor nuevo y listo conectarlo nuevamente.

- Las tuberías del humidificador no deben ser alteradas, rayadas, obstruidas, o casos similares; así como no mover la calibración del equipo en el gotero, cualquier alteración en el suministro de agua por pequeña que sea puede traer consecuencias graves en la operación del equipo, evite modificar estos elementos siempre que no sea de absoluta necesidad.

Especificaciones rodamientos

Rodamiento de las vigas de la estructura = 6000

Rodamiento del eje de la corona = 6001 2RS

Rodamiento del eje del tornillo sinfín = 618-9

Rodamiento mecanismo barras = 618-8

Especificaciones del motor eléctrico

MOD 323 115v 60Hz 5w 3 r.p.m

Especificaciones resistencias eléctricas

Resistencia eléctrica de Incoloy utilizada normalmente para calentadores de agua o grecas de café potencia de 200w

Especificaciones ventiladores

Dimensiones externas = 80 x 80 x 25 mm

Voltaje = 12v

Amperaje = 0.35 A