

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INCUBADORA PARA EL ESTUDIO DE EMBRIONES DE POLLO

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Br. Edickson E. Ramirez C.

Br. Hernández F. Guillermo J.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2009

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INCUBADORA PARA EL ESTUDIO DE EMBRIONES DE POLLO

Tutor Académico: Prof. José Ercolino

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela

Por los bachilleres:

Br. Edickson E. Ramirez C.

Br. Hernández F. Guillermo J.

Para optar al Título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2009



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPARTAMENTO DE DISEÑO

Caracas, 24 de noviembre de 2.009

Prof. GERARDO RAMÍREZ
Jefe de la División de Control de Estudios
Facultad de Ingeniería

Presente.-

Quienes suscriben, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de la Escuela de Ingeniería Mecánica, nos dirigimos a usted con la finalidad de informarle que hemos decidido otorgarle a los Bachilleres:

EDICKSON RAMIREZ (C.I.V.- 12.984.799)
y
GUILLERMO HERNÁNDEZ (C.I.V.- 15.801.168)

“MENCIÓN HONORÍFICA”

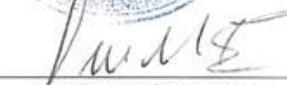
Por la excelencia demostrada en la realización del Trabajo Especial de Grado, intitulado:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INCUBADORA PARA EL ESTUDIO DE EMBRIONES DE POLLO”

Sin otro particular a que hacer referencia, quedamos de usted,


Prof. Julio Segura
Jurado




Prof. José Ercolino
Tutor


Prof. Pedro Lecue
Jurado



Caracas, 24 de noviembre de 2.009

ACTA

Los abajo firmantes, Miembros del Jurado Examinador designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Mecánica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los bachilleres:

EDICKSON RAMIREZ y GUILLERMO HERNÁNDEZ

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INCUBADORA
PARA EL ESTUDIO DE EMBRIONES DE POLLO”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el Plan de Estudios conducente al Título de Ingeniero Mecánico.

Prof. Julio Segura
Jurado



Prof. José Ercotino
Tutor

Prof. Pedro Lecue
Jurado

Edickson E. Ramirez C., Hernández F. Guillermo J.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA INCUBADORA PARA EL ESTUDIO DE EMBRIONES DE POLLO

Tutor Académico Prof. José Ercolino. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecánica. Ingeniero Mecánico.

Palabras Claves: Incubadora Artificial; Embriones de Pollo; Sistemas de Control; Transferencia de Calor.

Resumen: En este proyecto se planteó la concepción de una incubadora que poseyera un sistema activo de control de la temperatura, un control pasivo de la humedad y acceso para mediciones acústicas, eléctricas y de video. De manera metodológica, en una marcha ascendente, partiendo de lo sencillo a lo complejo, se realizan diferentes modelos con los que se representan el diseño deseado. Con los mismos se elaboraron pruebas, experimentos y demostraciones las cuales ayudaron a definir y discutir ideas entre los diseñadores y las partes responsables del proyecto. La elaboración de prototipos apoyó la labor para la realización de modelos, clasificando los requisitos y definiendo las opciones previas antes de la elaboración definitiva de la incubadora. Esto llevó al diseño final y construcción de un dispositivo para realizar estudios en embriones de pollo, condicionado por los parámetros, requisitos y necesidades del proceso de incubación y de los estudios que se efectúan en el instituto.

Edickson E. Ramirez C., Hernández F. Guillermo J.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN INCUBATOR FOR THE STUDY OF
CHICKEN EMBRYOS

Academic Tutor Prof. José Ercolino. Thesis. Caracas. U.C.V. Faculty of Engineering. School of Mechanical Engineering. Mechanical Engineer.

Keywords: Artificial Incubator, chicken embryos, Control Systems, Heat Transfer.

Abstract: This project raised the idea of an incubator that possess an active system of temperature control, a passive control of humidity and access to acoustic measurements, electrical and video. Methodological manner in an upward march, starting from the simple to the complex, are performed with different models that represent the desired design. With the same tests were developed, experiments and demonstrations which helped to define and discuss ideas among designers and the parties responsible for the project. Prototyping supported the work for the realization of models, classifying and defining the requirements the previous options before finalizing the incubator. This led to the final design and construction of a device for studies in chicken embryos, determined by the parameters, requirements and needs of the incubation process and the studies that are conducted at the institute

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| CAPÍTULO I: PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN | 3 |
| 1.1 Antecedentes de Proyectos Afines | 3 |
| 1.2 Planteamiento del Problema..... | 7 |
| 1.3 Objetivos | 9 |
| 1.3.1 Objetivo General | 9 |
| 1.3.2 Objetivos Específicos..... | 9 |
| 1.4 Alcances | 10 |
| CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO..... | 11 |
| 2.1 Incubación en Embriones de Pollo..... | 11 |
| 2.2 Factores que Intervienen en la Incubación Artificial de Embriones de Pollo.. | 11 |
| 2.2.1 Temperatura | 13 |
| 2.2.2 Humedad Relativa..... | 13 |
| 2.2.3 Ventilación | 13 |
| 2.2.4 Rotación | 14 |
| 2.3 Incubación Artificial y Mecanismos de Transferencia de Calor..... | 14 |
| 2.4 Sistemas y Acciones Básicas de Control | 18 |
| 2.5 Sensores y Transductores de Temperatura..... | 20 |
| 2.5.1 Transductores | 20 |
| 2.5.2 Sensores y Medición de Temperatura | 20 |
| 2.5.2.1 Termoresistencia (RTD: Resistance Temperature Detector) | 20 |
| 2.5.2.2 Termistores (Sensor Resistivo) | 22 |
| 2.5.2.3 Termopares o Termocuplas..... | 24 |
| 2.5.2.4 Diodos | 25 |
| 2.5.2.5 Circuitos integrados (CI: Circuitos Integrado)..... | 26 |
| 2.6 Modelado y Simulación | 29 |
| 2.6.1 Modelos Físicos y Matemáticos..... | 29 |
| 2.6.2 Simulaciones Matemáticas..... | 29 |

| | |
|--|----|
| 2.6.3 Programas de Computación para Modelado y Simulación..... | 31 |
|--|----|

CAPÍTULO III: DISEÑO DE LA INCUBADORA..... 33

| | |
|--|----|
| 3.1 Diseño del Sistema de Control Pasivo de la Humedad Relativa..... | 35 |
| 3.1.1 Humedad Relativa..... | 35 |
| 3.1.2 Tipos de Sensores para Medición de la Humedad Relativa..... | 35 |
| 3.1.2.1 Sensores por Psicrometría..... | 35 |
| 3.1.2.2 Sensores Resistivos..... | 36 |
| 3.1.2.3 Sensores por Desplazamiento o Mecánicos..... | 36 |
| 3.1.2.4 Sensores Capacitivos..... | 36 |
| 3.1.2.5 Sensores por Condensación..... | 36 |
| 3.1.3 La Humedad Relativa y las Soluciones de Sales Saturadas..... | 37 |
| 3.2 Selección de la Unidad de Calentamiento..... | 39 |
| 3.2.1 Caracterización del Elemento Resistivo..... | 40 |
| 3.3 Diseño Morfológico y Estructural..... | 47 |
| 3.4 Diseño del Sistema de Control Activo de Temperatura..... | 50 |
| 3.4.1 Importancia del Sistema de Control de la Temperatura..... | 50 |
| 3.4.2 Selección del Sensor de Temperatura..... | 51 |
| 3.4.3 Sistema de Adquisición de la Señal del Sensor y Control de la Temperatura..... | 53 |
| 3.4.3.1 Programación del PIC16F876..... | 55 |
| 3.4.3.2 Esquema del Montaje del Circuito en General..... | 56 |
| 3.4.3.3 Configuración del Microcontrolador PIC 16F876..... | 58 |
| 3.4.3.4 Visualización de Parámetros (Temperatura Medida y Temperatura de Consigna)..... | 59 |
| 3.4.3.5 Adquisición de la Señal del Sensor..... | 59 |
| 3.4.3.6 Ajuste de la Temperatura de Consigna..... | 60 |
| 3.4.3.7 Respuesta de Control..... | 61 |
| 3.4.4 Acción de Control Utilizada..... | 62 |
| 3.4.4.1 Acción de control On-Off..... | 62 |
| 3.4.4.2 Acción de Control Proporcional..... | 63 |
| 3.4.4.3 Acción Proporcional Integral..... | 64 |
| 3.4.5 Control de la Potencia Introducida a la Incubadora..... | 65 |
| 3.5 Modelado en Transferencia de Calor y Termodinámica..... | 67 |

| | |
|--|------------|
| 3.5.1 Configuración Definitiva | 67 |
| 3.5.2 Modelo Experimental: Consideraciones | 68 |
| 3.5.3 Representación del Modelo Teórico Planteado..... | 69 |
| 3.5.4 Ecuaciones del Modelo Teórico: Consideraciones | 70 |
| CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y EXPERIMENTACIÓN..... | 79 |
| 4.1 Curvas Experimentales Medidas..... | 79 |
| 4.2 Simulación: Ajuste de Constantes..... | 81 |
| 4.2.1 Resultados de la Simulación | 82 |
| 4.3 Experimento con el Sistema de Control Funcionando..... | 91 |
| 4.3.1 Experimento Acción de Control Encendido-Apagado (On-Off) | 91 |
| 4.3.2 Experimento Acción de Control Proporcional..... | 92 |
| 4.3.3 Experimento Acción de Control Proporcional-Integral | 94 |
| 4.4 Experimento con el Ventilador Interno. Tipo de Flujo Interno | 95 |
| 4.5 Curvas de Calentamiento del Ventilador Interno..... | 99 |
| 4.6 Experimento Humedad Relativa | 99 |
| CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 101 |
| 5.1 Verificación del Modelo | 101 |
| 5.2 Comprobación del Material del Elemento Resistivo | 101 |
| 5.3 Justificación de los Coeficientes de Convección Planteados..... | 102 |
| 5.4 Aporte de Calor Generado Por el Ventilador Interno | 103 |
| 5.5 Análisis de la Acción de Control | 103 |
| 5.6 Cálculo de los Calores en el Sistema | 104 |
| 5.7 Control Pasivo de la Humedad Relativa | 111 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 113 |
| Conclusiones | 113 |
| Recomendaciones o Sugerencias | 114 |
| MANUAL DE LA UNIDAD..... | 115 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 117 |
| BIBLIOGRAFÍA | 123 |
| ANEXOS | 125 |

| | |
|--|-----|
| [ANEXO 1] Hojas de Datos (Datasheet) | 126 |
| [ANEXO 2] Montaje de un Control de Temperatura..... | 129 |
| [ANEXO 3] Cotización del Ioduro de Potasio..... | 131 |
| [ANEXO 4] Bocetos | 134 |
| [ANEXO 5] Curva Característica de un Termistor..... | 137 |
| [ANEXO 6] Código para la Simulación del Modelo Matemático..... | 138 |
| [ANEXO 7] Planos de las Piezas que Conforman la Unidad | 143 |
| [ANEXO 8] Fotos de las Maquetas y Prototipos Realizados | 155 |
| [ANEXO 9] Curvas de Calentamiento del Ventilador Interno | 158 |
| [ANEXO 10] Incubadora del Laboratorio | 160 |
| [ANEXO 11] Perfil de Velocidad del Flujo Producido por el Ventilador Interno ... | 162 |
| [ANEXO 12] Representación en 3D de Bosquejos | 163 |
| [ANEXO 13] Algoritmos de Programación Usados en el Microcontrolador | 165 |
| [ANEXO 14] Presupuesto Para la Construcción | 171 |
| [ANEXO 15] Programador Serial Para PIC..... | 173 |
| [ANEXO 16] Experimentación Control Pasivo de la Humedad Relativa | 174 |
| [ANEXO 17] Manual del Equipo o Guía del Usuario | 175 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 Propiedades del nicromo (Ni-Cr)..... | 41 |
| Tabla 2. Piezas características de la unidad | 48 |
| Tabla 3. Matriz de selección del sensor para medir la temperatura..... | 52 |
| Tabla 4. Matriz de selección del sistema de adquisición de la señal del sensor y control de la temperatura..... | 54 |
| Tabla 5. Materiales que conforman el montaje del circuito general | 56 |
| Tabla 6. Propiedades térmicas y mecánicas del PVC y acrílico (plexiglás) | 68 |
| Tabla 7. Caracterísitcas del ventilador interno..... | 95 |
| Tabla 8. Mediciones de la velocidad del flujo de aire..... | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema general de una incubadora para embriones de pollo | 12 |
| Figura 2. Mecanismo de transferencia de calor entre los componentes de la incubadora | 17 |
| Figura 3. Esquema general de un sistema de control de temperatura para una incubadora | 19 |
| Figura 4. Forma de conectar termoresistencias | 22 |
| Figura 5. Utilizando un termistor en un circuito astable de un LM555 | 28 |
| Figura 6. Representación del elemento resistivo utilizado..... | 40 |
| Figura 7. Representación de los equipos utilizados para caracterizar el elemento resistivo | 42 |
| Figura 8. Representación del elemento resistivo utilizado..... | 43 |
| Figura 9. Esquema del montaje del circuito en general | 57 |
| Figura 10. Conexión general del PIC16F876..... | 58 |
| Figura 11. Conexión para la visualización de un dígito..... | 59 |
| Figura 12. Conexión para la adquisición de la señal del sensor | 60 |
| Figura 13. Circuito para introducir el valor de consigna | 61 |
| Figura 14. Conexión para la señal de control..... | 61 |
| Figura 15. Acción de control On-Off..... | 63 |
| Figura 16. Acción de control proporcional | 63 |
| Figura 17. Acción de control proporcional con Off Set..... | 65 |
| Figura 18. Acción de Proporcional Integral | 65 |
| Figura 19. Ciclo de trabajo con el método de PWM..... | 66 |
| Figura 20. Imágenes del corte transversal de la incubadora | 67 |
| Figura 21. Representación gráfica del sistema corte transversal | 69 |
| Figura 22. Corte transversal esquemático. Área de contacto en rojo..... | 71 |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| | |
|--|----|
| Gráfica 1. Temperatura vs Voltaje del elemento resistivo..... | 43 |
| Gráfica 2. Temperatura vs Intensidad del elemento resistivo..... | 44 |
| Gráfica 3. Resistencia vs Temperatura del elemento resistivo. | 44 |
| Gráfica 4. Voltaje vs Intensidad del elemento resistivo..... | 45 |
| Gráfica 5. Potencia vs Temperatura del elemento resistivo..... | 45 |
| Gráfica 6. Curva de calentamiento experimental en la incubadora. Para los diferentes valores de potencia máxima. | 80 |
| Gráfica 7. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental. Potencia máxima 13,75%. Temperatura ambiente: 24,70 °C. <i>Erms</i> = ±0,146°C. | 84 |
| Gráfica 8. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental. Potencia máxima 30%. Temperatura ambiente: 22,59 °C. <i>Erms</i> = ± 0,249°C..... | 85 |
| Gráfica 9. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental. Potencia máxima 37,5%. Temperatura ambiente: 25,18 °C. <i>Erms</i> = ± 0,166°C..... | 86 |
| Gráfica 10. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental. Potencia máxima 50%. Temperatura ambiente: 25,5 °C. <i>Erms</i> = ± 0,367°C..... | 87 |
| Gráfica 11. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental. Potencia máxima 62,5%. Temperatura ambiente: 24,65 °C. <i>Erms</i> = ± 0,229°C..... | 88 |
| Gráfica 12. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental. Potencia máxima 75%. Temperatura ambiente a: 24,77 °C. <i>Erms</i> = ± 0,476°C..... | 89 |
| Gráfica 13. Comparación entre las curvas del modelo y las experimentales de la temperatura en el interior de la incubadora Todas las Potencias. | 90 |
| Gráfica 14. Curva Experimental acción de control Encendido-Apagado. Potencia | |

| | |
|--|----|
| máxima de entrada 100%..... | 92 |
| Gráfica 15. Curva Experimental acción de control proporcional. Potencia máxima de entrada 100%..... | 93 |
| Gráfica 16. Curva Experimental acción de control proporcional-integral. Potencia máxima de entrada 100%..... | 94 |
| Gráfica 17. Curva de calentamiento del ventilador interno. Temperatura ambiente: 25,15°C. | 99 |

INTRODUCCIÓN

Actualmente la tecnología se encuentra presente en todos lados, desde las cosas más sencillas hasta las más complejas, la industrialización y el desarrollo tecnológico, han marcado pauta en gran cantidad de procesos tanto naturales como creados por el hombre. La Ciencia y la Ingeniería, se utilizan como herramientas para la creación, automatización, imitación y modelado de nuevos medios para lograr resultados más precisos, exactos y rápidos en diferentes actividades, muchas de las cuales son llevadas a cabo inicialmente por la naturaleza.

Uno de estos procesos naturales es la incubación. Éste, es el acto por el cual los animales ovíparos calientan a sus huevos mediante el calor natural para promover el desarrollo del embrión. El hombre ha hecho suyo este proceso y se conoce como la Incubación Artificial, la cual es utilizada para diferentes fines. El propósito de ésta, es imitar de una manera automatizada y controlada el proceso que realizan en forma natural las aves.

En el Laboratorio de Morfologías Integrales del Instituto Anatómico “José Izquierdo” de la Facultad de Medicina de la Universidad Central de Venezuela, se realizan estudios sobre los efectos que tienen diferentes sustancias y condiciones de incubación (como la temperatura y la humedad relativa) sobre el desarrollo y la fisiología de los embriones de pollo. Para ello se hace la inoculación de las sustancias bajo estudio (medicamentos, agentes tóxicos, drogas, etc.) en huevos fertilizados que son instrumentados y colocados en una incubadora que les proporciona un ambiente artificial adecuado para su desarrollo durante el proceso, que puede tomar desde algunos minutos hasta varios días.

Actualmente en el laboratorio, existe una incubadora en funcionamiento con algunas limitaciones (véase el ANEXO 10), como son un control de temperatura con un error muy elevado, la ausencia de un sistema para el control de humedad

relativa y otros aspectos experimentales necesarios para los ensayos que se llevan en el instituto.

El embrión de pollo es un modelo biológico que tradicionalmente ha sido utilizado en una gran multiplicidad de estudios, debido a su fácil manejo, rápido desarrollo y embriogénesis temprana, similar a la de muchos otros animales. Los cambios que tienen lugar durante el desarrollo del embrión se presentan ordenados y regidos por procesos naturales. Éstos se dan con normalidad, solamente bajo niveles determinados de temperatura, humedad, ventilación, rotación e higiene de los huevos y composición química del aire. De todos ellos la temperatura oficia como el factor de mayor importancia, ya que inclusive, pequeñas variaciones de sus valores pueden resultar en efectos sustanciales para muchos embriones. Esto representa un factor crítico en la utilización del embrión de pollo como modelo experimental, ya que, de no ser proporcionado y controlado el ambiente adecuado éste no se desarrollará normalmente o incluso morirá antes de poder completar el estudio.

En el mercado existe una gran cantidad de incubadoras comerciales, pero que no cumplen con las características requeridas para los ensayos [37]. Por lo cual, este proyecto se plantea realizar la concepción de un sistema activo de control de la temperatura, para crear y simular un modelo basado en principios de termodinámica y transferencia de calor. Este sistema contará, asimismo, con el control pasivo de la humedad y los necesarios accesos para las mediciones acústicas, eléctricas y de video. Esto llevará al diseño final y construcción de una incubadora para embriones de pollo, condicionada por los parámetros, requisitos y necesidades del proceso de incubación y de los estudios efectuados en el Instituto Anatómico “José Izquierdo”.

CAPÍTULO I

PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN

Cuando se acomete un proyecto de diseño y construcción de cualquier máquina o equipo, se procede con la identificación de las especificaciones iniciales, es decir, las condiciones que tiene que cumplir el dispositivo para satisfacer las necesidades requeridas. Para esta identificación es necesario conocer el problema o la situación a abordar y en la medida de lo posible, saber cuáles son las soluciones que anteriormente se le han dado. Para realizar esta investigación todos los medios disponibles son válidos. Se plasma a continuación, la ubicación del contexto y definición del problema, antecedentes, objetivos y alcances.

1.1 Antecedentes de Proyectos Afines

La incubadora es un recinto donde se crea un ambiente artificial, en la cual se busca, principalmente, tener control activo de la temperatura, y de otras variables como la humedad relativa. Dentro, se genera calor así como se manipulan diversas características. No es extraño ver la incubadora como un pequeño horno, donde se trabaja con bajas temperaturas, entre treinta y seis y cuarenta grados Celsius (36°C - 40°C). Un horno es un compartimiento cerrado, en él se controla la temperatura de forma activa. La energía calorífica utilizada para alimentar un horno puede ser suplida directamente por la combustión de alguna sustancia o mediante algún elemento eléctrico que genere calor por efecto joule.

Entre los trabajos realizados sobre incubadoras en el país en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela (UCV), se llevo a cabo un proyecto en donde se efectuó el diseño del prototipo de una incubadora experimental de huevos de pato real [1]. La capacidad de la maquina es de mil

ochenta (1080) huevos por periodo de incubación. Esta permite llevar a cabo de manera automática los procesos involucrados en el ambiente artificial: volteo de los huevos y tratamiento de aire, que están gobernados por un controlador lógico programable. Al diseño propuesto se le realizó un estudio de costos de fabricación, para conocer su factibilidad económica. Esta investigación sigue una línea de acción muy similar a la que se desea en nuestro propósito, dándonos idea de las actividades y sirviéndonos de ejemplo de lo que podemos llevar a cabo.

Otro proyecto llevado a cabo en la Universidad Central de Venezuela (UCV) tuvo como objetivo el diseño y construcción de un instrumento electrónico, realizado casi en su totalidad con circuitos integrados, para el control programable de elementos calefactores y de enfriamiento [2]. Todo esto con la finalidad de controlar la temperatura para someter dispositivos electrónicos a grandes variaciones de ésta, entre cero grados Celsius (0 °C) y sesenta grados Celsius (60 °C), durante periodos de tiempo relativamente cortos, logrando simular las condiciones extremas del régimen de trabajo de los dispositivos. Dicha labor representa una herramienta en la comprensión del sistema de control, además de la funcionalidad de cada uno de los elementos que lo integran.

Con un perfil afín en el diseño de un sistema de evaluación y en el desarrollo de una simulación de variables de estado, el trabajo especial de grado: “Implementación de un PLC en un sistema de regulación PID para el control de procesos de nivel, presión, temperatura y humedad” [7], nos da ideas para la realización de nuestro sistema de control. En ésta tesis, se sustituye un controlador industrial modelo Micon P-200, por un Controlador Lógico Programable (PLC) TSX Micro 3721001. Para ello se desarrolló la programación de diferentes lazos de control, así como sus conexiones. Una vez realizada la instalación física se cablearon todos los dispositivos incluyendo el PLC. Por último se simuló el comportamiento de temperatura mediante un programa computacional con el fin de poder controlar el proceso.

Cuando se almacenan elementos mecánicos, como motores y partes de turbinas aeronáuticas cerca del mar, se hace necesario un buen sistema para el control de los parámetros de temperatura y humedad en el taller o depósito. Esto queda evidenciado en el trabajo de grado: “Diseño de un sistema de control de temperatura y humedad relativa de un taller de reparaciones y almacenaje de motores” [9], donde se desarrolló un método de control de estas variables, para la empresa AVENSA. Dentro del marco teórico se despliegan los principios de las técnicas de evaluación. El proyecto abarca el cálculo de cargas térmicas presentes en el ambiente, la selección del procedimiento más adecuado para las condiciones requeridas, el diseño del sistema de deshumidificación, distribución de aire, y diseño del sistema de tuberías. Finalmente se realiza el estudio económico con base en los equipos y accesorios seleccionados para el sistema de control. Llevando esto a una maqueta (a menor escala), se llega a la creación de un modelo de transferencia de calor en una incubadora, así como a la evaluación de la factibilidad financiera del diseño.

En el área de diseño de hornos, en el país se han llevado a cabo algunos proyectos, relevantes para nuestro trabajo. Uno de ellos es “Diseño y puesta en marcha de un horno calentado por resistencia eléctrica” [10]. En donde se diseñó, fabricó y puso en funcionamiento un pequeño horno calentado por resistencia eléctrica, para ser utilizado en la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de los Materiales de la Universidad Central de Venezuela (UCV), con el fin de efectuar tratamientos térmicos a bajas temperaturas. Las temperaturas logradas dentro del hogar del horno, fueron posibles por la utilización de una resistencia eléctrica fabricada en un material especial denominado Kanthal DSD, que cumplió con los requerimientos exigidos.

Otra de las investigaciones relacionadas con hornos en Venezuela, es el trabajo titulado: “Diseño y construcción de un horno para baño de sales fundidas con un controlador de temperatura tipo On-Off” [3], en donde se tuvo como objetivo diseñar, construir y poner en funcionamiento un horno con un controlador de temperatura a escala de laboratorio. Esto con la finalidad de

realizar tratamientos isotérmicos en un baño de sales fundidas, lográndose alcanzar temperaturas muy próximas a los novecientos cincuenta grados Celsius (950 °C). El proyecto trató conceptos relacionados con hornos y su funcionamiento, también se abordaron nociones de transferencia de calor, materiales refractarios y sistemas de control siendo este último tópico de utilidad primordial en nuestra investigación, a pesar de que el controlador usado sea del tipo On-Off.

Estando al tanto de investigaciones y desarrollos que se han hecho, concernientes a sistemas de control de temperatura, incubadoras, hornos y embriones de pollo. Conociendo las metodologías que se piensan utilizar, se obtuvo una base para la concepción, diseño y construcción de una incubadora para embriones de pollo.

1.2 Planteamiento del Problema

En la Sección de Morfologías Integrales del Instituto Anatómico “José Izquierdo” se realizan diferentes tipos de ensayos en embriones de pollos, por medio de la inoculación en huevos fertilizados. Esto, con el propósito de estudiar el efecto e influencia de ciertas drogas, medicamentos y agentes tóxicos en la morfología, fisiología e histología del espécimen. La importancia de estos análisis radica en la investigación dirigida hacia la Medicina, la Biología, la Farmacología y la Toxicología.

La incubadora que opera al presente, tiene ciertas limitaciones como la falta de un control de humedad relativa y la ausencia de un regulador adecuado de la temperatura. Por otra parte esta última, es difícil de manipular dentro del equipo, ya que el calor es transferido a través de un sistema de baño de agua caliente entre dos paredes, que posee una gran inercia térmica. Otras de las restricciones consisten en que los cambios en la temperatura ambiente, así como la apertura y cierre de las cubiertas, afectan de manera directa la temperatura interna, provocando la variación indeseada de la misma. La naturaleza de los ensayos que se llevan a cabo y de aquellos que se desean realizar en el futuro, hace necesario poder modificar la temperatura según un programa preestablecido.

La primera opción que se estudió fue la de modificar el equipo que se posee actualmente. Pero debido al diseño original resultaría sumamente costoso realizar todas las modificaciones que se requieren. Adicionalmente, esto requeriría detener los experimentos que actualmente se encuentran en curso mientras se efectúan las modificaciones. Por tal motivo resulta más apropiado construir una nueva incubadora adaptada a los requerimientos anteriormente expuestos.

Para el diseño de un equipo que produzca un ambiente artificial adecuado, es necesario estudiar los factores que intervienen en el proceso de incubación y cómo cada uno de éstos participa en el desarrollo del embrión. Debido al tipo de experimentos realizados, queda imposibilitado el cumplimiento de todos los

requerimientos que intervienen en la incubación, como es el caso del volteo de los huevos, ya que éstos tienen adheridos cables e instrumentos de medición que impiden tal actividad.

Por estas razones se requiere diseñar una incubadora que permita modificar y controlar los diversos factores y variables involucradas en el proceso de incubación artificial de embriones de pollo, para efectuar los ensayos que se llevan a cabo o que se desean realizar en esta institución. Además, se debe cumplir con requisitos de diseño, como es el de tener un bajo costo de construcción y mantenimiento, el de ser fácilmente manipulable y cumplir con las necesidades antes descritas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar y construir una incubadora para embriones de pollo que permita el control activo de la temperatura entre 30°C y 42°C con una precisión de $\pm 0,2^\circ\text{C}$, el control pasivo de la humedad relativa y acceso para mediciones acústicas, eléctricas y de video en estudios farmacológicos, toxicológicos y fisiológicos efectuados en el Laboratorio de Morfologías Integrales del Instituto Anatómico “José Izquierdo”.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Establecer la metodología a utilizar en el desarrollo del diseño, considerando las necesidades del proceso de incubación y exigencias del laboratorio en el Instituto Anatómico “José Izquierdo”.
- Desarrollar el modelado de las propuestas seleccionadas sobre la transferencia de calor y posteriormente simularlas en un programa computacional para evaluar su comportamiento.
- Diseñar el sistema de control encargado de regular la temperatura, y considerar un método para el control pasivo de la humedad especificando los componentes que lo integran.
- Generar los planos de la incubadora para embriones de pollo, registrando todas sus dimensiones y materiales usados para su construcción y construir el prototipo de ésta, siguiendo las especificaciones de diseño.
- Demostrar la funcionalidad de la incubadora diseñada, por medio de ensayos representativos de los experimentos reales.

1.4 Alcances

Una vez establecidos los objetivos, se hace necesario tomar en cuenta los límites, que por motivos financieros, de tiempo y capacidad los condicionan directamente. Se presentan a continuación los alcances de nuestros objetivos:

- Realizar una inspección funcional, de la incubadora actualmente en uso en el laboratorio del instituto José Izquierdo
- Seleccionar la metodología de diseño en función de los lineamientos establecidos en la literatura publicada en el área.
- La simulación del modelo propuesto se realizara en el mismo programa utilizado en el laboratorio para la captura, procesamiento y análisis de las respuestas de los ensayos.
- Se harán las simulaciones de temperatura necesarias, hasta que las condiciones obtenidas cumplan con los requerimientos deseados.
- El sistema de control seleccionado debe permitir mantener la temperatura en el rango permisible para el desarrollo de los embriones.
- Los materiales a ser usados en el diseño se limitaran en su costo al presupuesto disponible y su disponibilidad en el mercado local.
- Documentar y registrar los resultados obtenidos de los ensayos realizados para verificar el funcionamiento adecuado de la incubadora construida.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Para mejorar la calidad de los estudios realizados en embriología, investigadores a nivel mundial buscan continuamente nuevas tecnologías. Gracias a los enormes esfuerzos aplicados en proyectos de investigación sobre incubación, surgen constantemente nuevas técnicas en pro del desarrollo, en cuanto al diseño de incubadoras de alto rendimiento se refiere.

2.1 Incubación en Embriones de Pollo

La incubación en términos generales, es un proceso que realizan los animales ovíparos (principalmente las aves) para controlar la temperatura de los huevos y así propiciar el desarrollo de los embriones. El huevo incubado modifica el medio que lo rodea al emitir calor, dióxido de carbono (CO₂), vapor de agua y absorber oxígeno.

2.2 Factores que Intervienen en la Incubación Artificial de Embriones de Pollo

En la incubación artificial tienen lugar un conjunto de factores físicos presentes en el medio ambiente que rodea al huevo, que son creados en forma artificial (*Figura 1*).

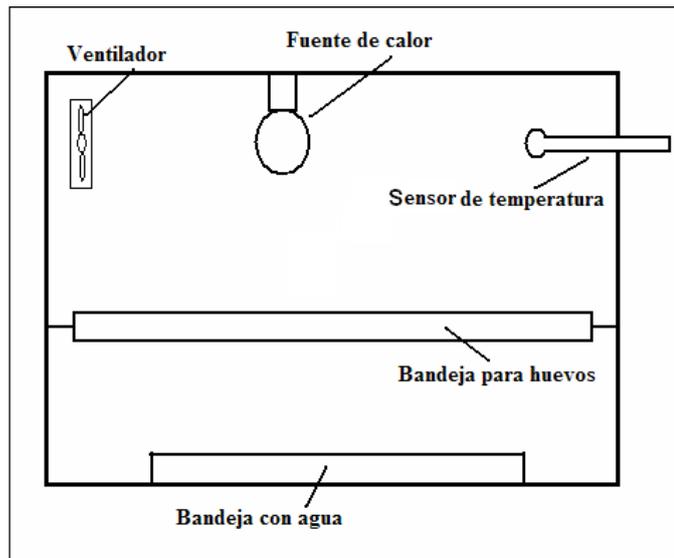


Figura 1. Esquema general de una incubadora para embriones de pollo

De manera general una incubadora es un recinto que no es totalmente cerrado (cambios de aire), este puede tener diversas formas como, semiesféricas, la más común como cajas, cilíndricas, entre otras. Sus partes principales son:

- Elemento disipador de calor: como resistencias o bombillas.
- Sistema de circulación de aire: que permite realizar los cambios de aire necesarios, y mantener una buena distribución de temperaturas dentro de la unidad.
- Sistema de control de humedad: para así mantener la humedad relativa en ciertos rangos determinados.
- Sistema de control de la temperatura: el cual permite tener la temperatura dentro de la unidad en un rango determinado.

En las secciones siguientes se detallarán los principales factores que afectan el proceso de incubación [11].

2.2.1 Temperatura

El calentamiento de los huevos durante la incubación artificial se realiza por intercambio de calor entre el aire circundante y los huevos. La temperatura de las incubadoras industriales comercialmente disponibles se selecciona en aproximadamente treinta y siete punto cinco (37,5° C) [38]. Sin embargo es necesario disminuir el nivel de temperatura durante los últimos dos o tres días de incubación debido a un incremento de la generación de calor metabólico producido por los huevos, es decir que la temperatura se debe ajustar según las etapas de incubación.

2.2.2 Humedad Relativa

De los huevos se evapora agua durante la incubación en función de la temperatura, de la humedad relativa del medio ambiente, la presión atmosférica y de la etapa de la incubación [11]. Por lo que es necesario humedecer el aire a fin de evitar la deshidratación excesiva.

Para la incubación de pollos el rango de humedad relativa está alrededor del 65 % y 75 % [25].

2.2.3 Ventilación

Son 3 tipos diferentes de ventilación requerida [38]:

1. Ventilación para remover el exceso de calor de la actividad del embrión dentro del huevo, la cual se incrementa a medida que el embrión crece.
2. Ventilación requerida dentro de la incubadora para remover el dióxido de carbono (CO₂), y renovar el oxígeno (O₂), que es necesario incrementar a medida que el embrión se desarrolla.

3. Ventilación para remover la humedad o vapor de agua resultante de la respiración del embrión a través de los poros de la cáscara, que se incrementa a medida que el embrión crece.

2.2.4 Rotación

En la incubación natural, las aves rotan los huevos que incuban con cierta frecuencia, de ahí que en el proceso de incubación artificial sea necesario repetir este procedimiento mediante medios mecánicos. El desarrollo de los embriones transcurre normalmente sólo cuando los huevos son rotados periódicamente durante los primeros diez y ocho (18) días de incubación [11].

El huevo, como se ha explicado antes, pierde vapor de agua durante todo el período de incubación, es decir, sufre un proceso de deshidratación. Por este motivo, el embrión está expuesto a pegarse a las membranas internas de la cáscara, lo que puede provocar su muerte, en particular durante los primeros seis días de incubación. El giro debe alcanzar los 90 grados [11].

2.3 Incubación Artificial y Mecanismos de Transferencia de Calor

Desde el punto de vista termodinámico se define al calor como energía en tránsito, que tiene lugar entre un sistema y sus alrededores, debido a una diferencia de temperaturas [6]. La termodinámica clásica estudia sistemas en equilibrio, de modo que puede predecir la cantidad de energía que necesita un sistema para pasar de un estado de equilibrio a otro, pero no es capaz de predecir que tan rápido se produce el cambio ni como se realiza. En cambio la transferencia de calor es la parte de la ingeniería que trata los procesos relacionados con esta energía en tránsito, dándonos información acerca de la naturaleza de las interacciones entre el sistema y el medio y de la velocidad con que dichas interacciones se producen [4].

Ahora bien, como se ha referido anteriormente, en el transcurso de la incubación de embriones de pollo, así como en el proceso de la incubación en general, la transferencia de calor juega un papel predominante para el buen desarrollo de los embriones. Se hace necesario entonces, el control y la medición de las temperaturas alcanzadas para lograr buenos resultados en las pruebas realizadas. La diferencia de temperatura entre el ambiente y el interior de la incubadora originan un gradiente térmico entre ambos sistemas, que propicia la transferencia de energía en forma de calor.

Existen tres formas de transferir calor: conducción, convección y radiación. Estas pueden estudiarse separadamente, aunque en la incubación y problemas de ingeniería generalmente se observan en conjunto.

La energía emitida por todos los cuerpos en forma de ondas electromagnéticas debido a su temperatura, viajando a la velocidad de la luz y propagándose aún en el vacío es lo que se define como radiación, la transferencia de calor por radiación es entonces, revisando la definición:

$$Q_{rad} = A_1 * F_{1-2} * \sigma * (T_1^4 - T_2^4) \quad (1)$$

Donde están, σ que es la constante de Stefan Boltzman. Equivalente a $5,670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$. El área A_1 , la diferencia de la temperatura entre la superficie y el aire elevada a la cuarta potencia y F_{1-2} que es el factor de vista del medio 1 al medio 2.

Para los efectos del cálculo y del modelo térmico en la incubadora para estudios en embriones de pollo, este fenómeno de radiación no será analizado debido a que las temperaturas en el sistema son relativamente bajas como para aportar de forma significativa a los cálculos, en comparación con las demás formas de transferir calor.

El calor suministrado por la fuente interna de la incubadora, es en su mayor parte transferido al aire por convección, mientras que una pequeña parte es

transferida por radiación directamente a las partes internas de la incubadora y a las paredes (este último mecanismo de transferencia es de magnitud despreciable).

Adicionalmente de las partes internas se transfiere calor por conducción a los huevos (recíprocamente) y a las paredes del recinto. Así como por convección se dan calor al aire (*Figura 2*).

Por otro lado el aire recibe (fuente interna), intercambia (huevos y partes internas) y se da (paredes) calor por convección.

Por su parte, las paredes se dan el calor que reciben al medio ambiente, por conducción y convección (*Figura 2*).

Estudios recientes indican que siempre hay una diferencia entre la temperatura de la incubadora y la del embrión de pollo dentro del huevo, esto debido además de las sustancias que están dentro del huevo, a una capa estática de aire alrededor del mismo que actúa como un aislante térmico, inversamente proporcional a la velocidad del aire [38].

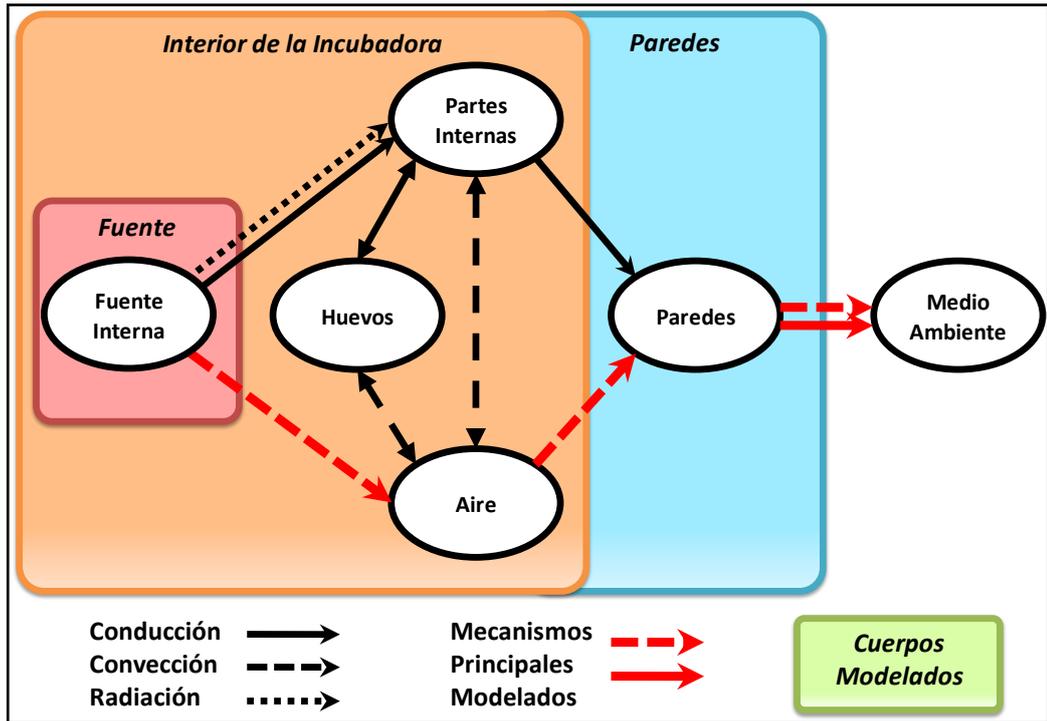


Figura 2. Mecanismo de transferencia de calor entre los componentes de la incubadora

2.4 Sistemas y Acciones Básicas de Control

Un sistema de medición y control es aquel que realiza funciones de medición de magnitudes físicas, químicas, biológicas entre otras, procesando los resultados de dichas mediciones a fin de controlar el comportamiento de una o más variables físicas.

La función principal de un control automático es la de mantener el valor de una variable física dentro de un intervalo deseado. Éste realiza la comparación de una variable de salida de una planta (planta será cualquier sistema físico que se va a controlar) [8] con una que se quiere, la diferencia o error entre las dos variables, la utiliza para proceder a reducirla. En consecuencia se determina una desviación, para la que se produce una señal correctora con el fin de llevar tal desviación a cero o a un valor muy pequeño.

El elemento más importante de un sistema de control es el lazo realimentado básico. El primero de estos fue usado en 1774 por James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor. Los lazos de control se desarrollaron paulatinamente hasta que los primeros sistemas de transmisión neumática comenzaron a volverse comunes en la década de mil novecientos cuarenta a mil novecientos cincuenta (1940 - 1950) [5].

Existen diversos métodos de generación de señales de control para la señal de error y de acuerdo a estas acciones de control (el algoritmo matemático que se ejerce sobre el error) se clasifican los controles automáticos en [12], [8]:

- Controles encendido-apagado (“On-Off”) o de dos posiciones.
- Proporcionales (P).
- Integrales (I).
- Derivativos (D).
- Proporcionales Integrales (PI).

- Proporcionales Derivativos (PD).
- Proporcionales Integrales Derivativos (PID).

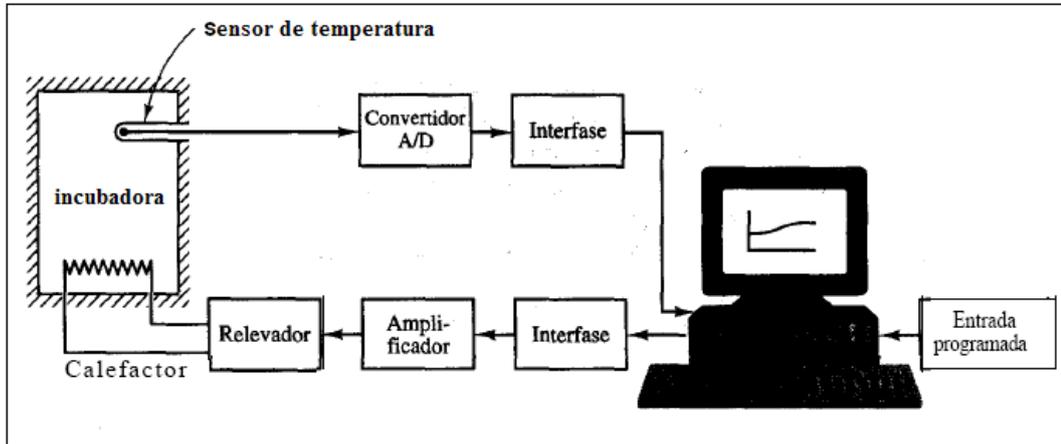


Figura 3. Esquema general de un sistema de control de temperatura para una incubadora.

En el diagrama (*Figura 2*) se muestra el control de temperatura de una incubadora. La temperatura de la incubadora se mide mediante un sensor, que es un dispositivo analógico. La temperatura analógica se convierte a una temperatura digital mediante un convertidor A/D (Analógico/Digital). La temperatura digital se introduce a un controlador mediante una interface y se compara con una temperatura que se ingresa mediante un programa. Si hay una discrepancia (error) el controlador envía una señal al calefactor (resistencia), a través de una interface, un amplificador y un relevador (relé), para hacer que la temperatura de la incubadora adquiera el valor deseado [9]

2.5 Sensores y Transductores de Temperatura

2.5.1 Transductores

El transductor es un dispositivo que al ser afectado por la energía de un sistema de transmisión (de entrada), proporciona energía en la misma forma o en otra a un segundo sistema de transmisión (de salida). Esta transmisión de energía puede ser eléctrica, química, óptica, o térmica [14]. Un sensor es un dispositivo que detecta manifestaciones de fenómenos físicos o químicos y los convierte en señales de naturaleza eléctrica (resistencia, capacidad, tensión, entre otros).

2.5.2 Sensores y Medición de Temperatura

Un sensor es un tipo de transductor, la diferencia es que el sensor está siempre en contacto con la variable a medir o controlar. En el mercado existen diferentes tipos, ninguno de ellos es el mejor en todas las situaciones de medida, la elección de alguno dependerá del tipo de aplicación para la cual vaya a ser utilizado [23].

Los factores que definen las características de un sensor son diversos, por ejemplo, intervalo de uso, velocidad de respuesta, precisión, deriva y precio. En regulación automática hay que agregar otro: la facilidad de conexión con los reguladores, y en especial con los electrónicos digitales. Este último factor mueve a descartar rápidamente varias alternativas como poco prácticas; por ejemplo, los transductores basados en dilataciones (como los termómetros de mercurio).

A continuación se presentan diversos sensores de temperatura, de los más usados en procesos de medición.

2.5.2.1 Termoresistencia (RTD: Resistance Temperature Detector)

Las RTD son sensores basados en elementos conductores. La termorresistencia trabaja según el principio de que en la medida que varía la

temperatura, su resistencia se modifica, y la magnitud de esta modificación puede relacionarse con la variación de temperatura. Los dispositivos RTD más comunes están contruidos con una resistencia de platino (Pt), llamadas también PRTD. Los conductores generalmente muestran un incremento en su resistencia con la temperatura, que se rige por la siguiente expresión [15]:

$$R_t = R_o(1 + a_1 * T + a_2 * T^2 + a_3 * T^3 + \dots + a_n * T^n) \quad (2)$$

Donde:

R_o : Resistencia en ohmios a 0 grados Celsius

R_t : Resistencia a la temperatura t grados Celsius

a_i: Coeficiente de temperatura. Depende del material, el rango de temperatura y la exactitud requerida.

Para conectarse, se usan diferentes técnicas: conexión de 2, 3 y 4 hilos, dependiendo de la aplicación y los requerimientos.

En la denominada técnica de dos hilos la resistencia se mide en los terminales del sistema de adquisición de datos, por lo que la resistencia de los hilos forma parte de la cantidad desconocida que se pretende medir, estos hilos conductores añadidos a la resistencia del circuito pueden causar errores de lectura.

Para ayudar a eliminar el error introducido por los hilos conectores se usa comúnmente una RTD de tres hilos. Los tres hilos unidos no eliminan todos los efectos de los hilos conductores, pero debido a que los sensores están localizados justamente cercanos a los transmisores, los efectos de los hilos conductores son pequeños y la aproximación provee una exactitud razonable (*Figura 3*).

Por el contrario, la técnica de cuatro hilos mide la resistencia en los terminales del RTD, con lo cual la resistencia de los hilos queda eliminada de la medida. La contrapartida es que se necesita el doble de cables y el doble de canales de

adquisición de datos. La caída de voltaje es independiente de los efectos de los hilos conductores.

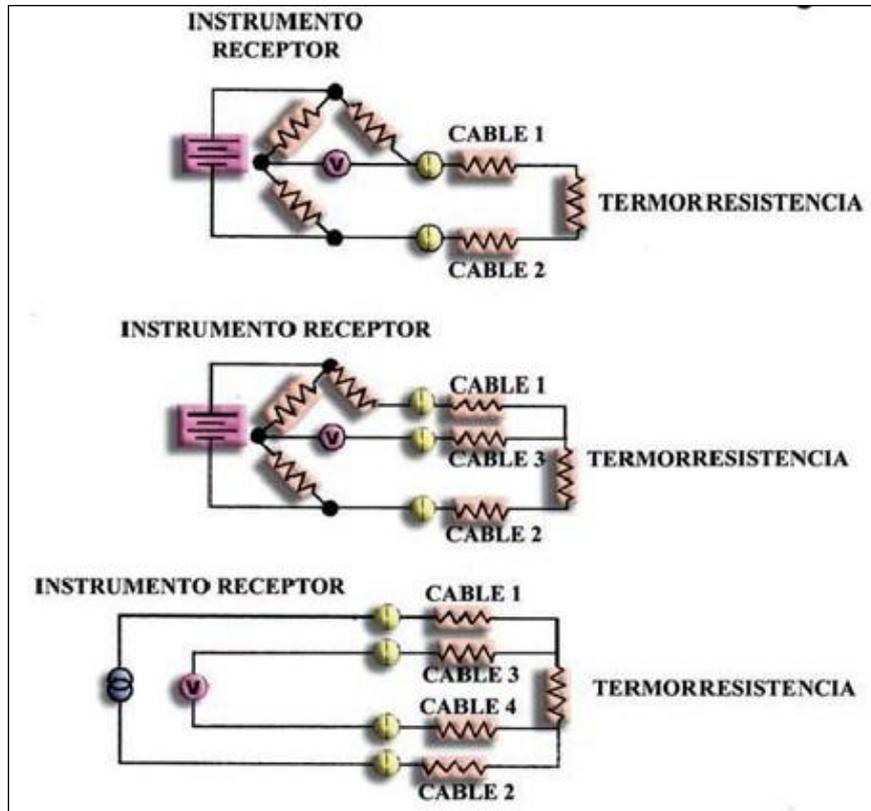


Figura 4. Conexiones típicas para una termoresistencia [16].

2.5.2.2 Termistores (Sensor Resistivo)

Un termistor es un dispositivo semiconductor cuya resistencia varía en función de la temperatura [17]. Existen dos clases de termistores: NTC (Negative Temperature Coefficient: Coeficiente de Temperatura Negativo), que es una resistencia variable cuyo valor tiene un decremento a medida que aumenta la temperatura; y PTC (Positive Temperature Coefficient: Coeficiente de Temperatura Positivo), cuyo valor de resistencia eléctrica aumenta cuando aumenta la temperatura.

Los termistores difieren de los resistores de temperatura como las RTD, en que por lo general utilizan materiales como cerámicas y polímeros, mientras las RTD utilizan metales puros. Los termistores se rigen por las siguientes ecuaciones:

1. *La Ecuación de Steinhart:* En la práctica, la aproximación lineal solo funciona sobre un pequeño rango de temperatura [18]. Para mediciones de temperatura más exactas, la curva de la resistencia/temperatura del dispositivo de ser más detallada. La ecuación de Steinhart es ampliamente utilizada en una aproximación de tercer orden:

$$\frac{1}{T} = a + b * \ln(R) + c * \ln^3(R) \quad (3)$$

Donde:

a, b, c : Son llamados los parámetros de Steinhart, y deben ser especificados para cada dispositivo.

T : Es la temperatura en kelvin (k)

R : Es la resistencia en ohm

Para dar la resistencia como función de la temperatura, la ecuación de arriba se reacomoda en:

$$R = e^{\left(\beta - \frac{\alpha}{2}\right)^{\frac{1}{3}} - \left(\beta + \frac{\alpha}{2}\right)^{\frac{1}{3}}} \quad (4)$$

$$\alpha = \frac{1}{c} \left(\frac{1}{T} - a \right)$$

$$\beta = \sqrt{\left(\frac{b}{3 * c}\right)^3 + \frac{\alpha^2}{4}}$$

El error en la ecuación de Steinhart es generalmente menor que 0.02 °C en la medición de la temperatura.

2. *La Ecuación B Paramétrica:* Los termistores NTC, también pueden ser caracterizados con la ecuación B paramétrica, que en esencia es la ecuación de Steinhart, pero con el valor de $c = 0$

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_0} + \frac{1}{B} \ln\left(\frac{R}{R_0}\right) \quad (5)$$

Donde las temperaturas están en kelvin. Utilizando la expansión, sólo para el primer parámetro:

$$R = R_0 * e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (6)$$

Donde R_0 es la resistencia a la temperatura T_0 , (Usualmente 25°C = 298.15k)

2.5.2.3 Termopares o Termocuplas

Son los sensores más utilizados. Un termopar opera bajo el principio de que un par de conductores de diferentes metales o aleaciones genera un voltaje que varía con la temperatura [19]. La junta de medición está colocada en el lugar donde se ha de medir la temperatura, al conectar el cable del termopar al cable que lo conecta al dispositivo de medición al otro extremo, se crea una unión termoeléctrica adicional conocida como junta fría. Entonces el voltaje medido (V) incluye el voltaje del termopar y los voltajes de junta fría. El método para

compensar estos voltajes no deseados es conocido como compensación de junta fría.

En una termocupula, dos materiales que tienen diferentes características de fuerza electromotriz sobre temperatura (f.e.m/temperatura), se combinan para producir voltaje de salida que puede ser cuantificado.

En el mercado existen gran variedad de termocuplas, entre las que están: tipo B, tipo R, tipo J (tienen bajo costo), tipo S, tipo K, tipo E, tipo T, entre otras.

Estudios realizados sobre el comportamiento de termopares han permitido establecer tres leyes fundamentales [20]:

1. *Ley del circuito homogéneo:* En un conductor metálico homogéneo no puede sostenerse la circulación de una corriente eléctrica por la aplicación exclusiva de calor.
2. *Ley de metales intermedios:* Si en un circuito de varios conductores la temperatura es uniforme desde un punto de soldadura A otro punto B, la suma algebraica de todas las fuerzas electromotrices es totalmente independiente de los conductores metálicos intermedios y es la misma que si se pusieran en contacto directo A y B.
3. *Ley de las temperaturas sucesivas:* La f.e.m generada por un termopar con sus uniones a las temperaturas T1 T3 es la suma algebraica de la f.e.m del termopar con sus uniones a T1 T2, más la de la f.e.m. del mismo termopar con sus uniones a las temperaturas T2 T3.

2.5.2.4 Diodos

Se puede usar un diodo semiconductor ordinario como sensor de temperatura [21]. Sólo es necesario hacer una buena calibración y mantener una corriente de excitación bien estable. El voltaje sobre un diodo conduciendo corriente en directo tiene un coeficiente de temperatura alrededor de dos coma tres mili voltios por

grado Celsius (2,3 mV/°C) y la variación dentro de un rango es razonablemente lineal. Se debe establecer una corriente básica de excitación, y lo mejor es utilizar una fuente de corriente constante, o sino un resistor conectado a una fuente estable de voltaje.

Cuando por un diodo pasa corriente I , la diferencia de potencial entre sus bornes viene dada por:

$$I = I_0 * \exp\left(-\frac{e * V_0}{k * T}\right) * \left[\exp\left(\frac{e * V}{k * T}\right) - 1 \right] \approx I_0 * \left[\exp\left(\frac{e * (V - V_0)}{k * T}\right) \right] \quad (7)$$

En esta expresión I_0 y V_0 son dos constantes, k es la constante de Boltzman. La última expresión vale cuando $e * V \gg k * T$. En este último caso vemos que si I (la corriente que pasa por el diodo) es constante, V deberá ser proporcional a T , o sea:

$$V = V_0 - b \cdot T, \quad \text{si } I = \text{constante}$$

Un modo de lograr que $I = \text{cte}$, es usar una fuente de corriente o simplemente colocar una resistencia en serie varios órdenes mayor que la resistencia del diodo.

2.5.2.5 Circuitos integrados (CI: Circuitos Integrado)

Existe una amplia variedad de circuitos integrados (sus siglas en inglés: IC *Integrated Circuit*) sensores de temperatura. En particular estos circuitos son muy adecuados para medir temperaturas cuando se usa sistema de toma de datos conectado a una computadora. Estos sensores se agrupan en cuatro categorías principales: salida de voltaje, salida de corriente, salida de resistencia y salida digital. Con salida de voltaje podemos encontrar los muy comunes LM35 (°C) y LM34 (°K) de National Semiconductor. Con salida de corriente uno de los más conocidos es el AD590, de Analog Devices. Con salida digital son conocidos el

LM56 y LM75 (también de National). Los de salida de resistencia son menos comunes, fabricados por Phillips y Siemens [22].

Circuito Integrado: LM 555: El LM555 es un dispositivo altamente estable, para la generación de tiempos de retraso exactos u oscilatorios. Incorpora dentro de sí, dos comparadores de voltaje, un flip flop, una etapa de salida de corriente, un divisor de tensión y un transistor de descarga. Dependiendo de cómo se conecten estos componentes internos es posible conseguir que dicho circuito realice gran número de funciones.

En el datasheet de este circuito integrado (véase el ANEXO 1) se pueden encontrar las diferentes formas de instalación para hacerlo funcionar en diferentes modos de operación: operación monoestable, operación astable, divisor de frecuencia, modulador con pulso, modulador de pulso de posicionado, rampa lineal, 50% de ciclo oscilador.

Entre las muchas aplicaciones del LM555, está la capacidad de medir y controlar la temperatura utilizando un termistor. Cuando es usado en la modalidad astable, el 555 puede generar una onda cuadrada de voltaje de salida, cuya frecuencia es uno a uno correspondiente con la temperatura (véase el ANEXO 2). El circuito convencional astable del 555 tiene dos resistencias fijas. Como se muestra en la *Figura 5*, un termistor NTC (en serie con una resistencia fija), puede remplazar a una de estas resistencias, mientras que la otra resistencia fija es remplazada por un transistor, el cual está en ON durante la carga del ciclo del capacitor. Entonces la frecuencia de operación viene dada por la siguiente ecuación:

$$f = \frac{0,722}{(RT + RS) * C} \quad \text{Ecu. (Frecuencia) (8)}$$

Donde:

RT: Resistencia variable, en este caso el termistor NTC. Expresada en KΩ

RS: Resistencia fija, en KΩ.

c : Capacidad del condensador o capacitor. Expresado en μf .
 f : Frecuencia de salida del circuito. Expresado en Hz.

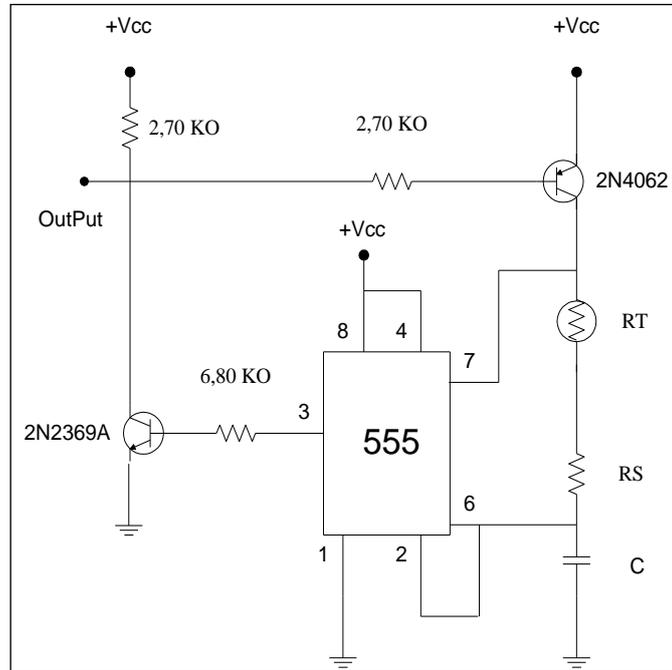


Figura 5. Utilizando un termistor en un circuito astable de un LM555.
(Copyright @ McGraw-Hill, Inc, 1973.)

La señal que se genera en la salida de este montaje con el LM555, puede ser llevada luego a una computadora para su manipulación.

2.6 Modelado y Simulación

2.6.1 Modelos Físicos y Matemáticos

Un modelo es la abstracción de los sucesos que rodean un proceso, una actividad o un problema. Aíslan una entidad de su entorno de manera que puede examinarse sin el "ruido" o perturbación de otras influencias del medio circundante [13]. Es una interpretación de la realidad física para poder aplicar los instrumentos y técnicas de las teorías matemáticas en el estudio del comportamiento de sistemas complejos, y posteriormente hacer el camino inverso para traducir los resultados numéricos a la realidad física. Por lo general se introducen simplificaciones de realidad.

Un modelo por computador es de igual forma, una abstracción: un conjunto de conceptos e ideas diseñados para imitar algún tipo de sistema. Éstos son comúnmente usados, debido a las ventajas que ofrecen los computadores en la resolución de los cálculos matemáticos.

2.6.2 Simulaciones Matemáticas

Simulación es la experimentación de una hipótesis o un conjunto de hipótesis de trabajo. Se trata de la representación simplificada, mediante un modelo, de la realidad de un proceso, imitando el comportamiento de un sistema, objeto o de alguno de los aspectos de ese comportamiento determinado. Cuando se ha obtenido el modelo de un sistema, el mismo puede ponerse a trabajar en una simulación computadorizada para ver cómo opera bajo ciertas condiciones.

La utilización de ordenadores para reproducir y realizar las simulaciones ha tenido una popularidad creciente y ello obedece a las siguientes razones:

- Seguridad: Algunas actividades son tan peligrosas que no serían éticamente posibles sin simulaciones por computador, por ejemplo: efectos ambientales de una fuga en una planta de energía nuclear, etc.

- Economía: Es mucho menos costoso producir un modelo digital que construirlo. Se puede evaluar, el modelo en varias ocasiones, en una serie de simulaciones antes de construir y probar un prototipo físico.
- Proyección: Con una simulación por computador se puede explorar uno o más futuros posibles.
- Visualización: Los modelos por computador hacen posible la visualización, y ésta permite ver y comprender relaciones que de otra manera podrían pasar inadvertidas.
- Reproducción: En el mundo real sería difícil o imposible repetir un proyecto de investigación en condiciones ligeramente diferentes. Si la investigación se lleva a cabo en un modelo por computador, la reproducción sólo implica cambiar los valores de entrada y ejecutar otra simulación.

Pero así como tienen sus ventajas, las simulaciones hechas en un computador tienen sus riesgos, no hay que olvidar que la simulación no es la realidad:

- La exactitud de una simulación depende de cuánto se aproxime el modelo matemático a la situación que se simula. Los modelos matemáticos se basan en suposiciones, muchas de las cuales son difíciles o imposibles de verificar. Algunos modelos tienen problemas por basarse en suposiciones deficientes.
- Las simulaciones requieren de muchos cálculos y algunas son tan complejas que los investigadores tienen que simplificar los modelos y optimizar los cálculos para que puedan ejecutarse en el mejor hardware disponible.

2.6.3 Programas de Computación para Modelado y Simulación

Actualmente, en muchas aplicaciones la utilización de programas matemáticos basados en cálculos numéricos, es un hecho. Gracias al auge y avance de la tecnología en diversos campos de la ciencia, se ha logrado que ramas como la Computación y la Ingeniería, compartan aspectos en común, por dicha razón los métodos teóricos y computacionales adquieren un papel preponderante en la evaluación de ingeniería. A través de los tiempos, el hombre en su afán por simplificar sus tareas cotidianas, ha desarrollado métodos y herramientas que le han permitido, mejorar su calidad de vida.

El desarrollo de modelos y simulaciones son aproximaciones ampliamente utilizadas con el fin de analizar, comprender y predecir el funcionamiento de cualquier sistema en función de las variables que rigen su dinámica.

Existe una gran variedad de programas utilizados en la modelación y simulación de sistemas. Algunos de ellos son utilizados ampliamente a nivel formativo como a nivel industrial debido a sus capacidades avanzadas, además poseen una serie de herramientas que contienen funciones comúnmente usadas en ingeniería. Todas estas herramientas facilitan el desarrollo de aplicaciones complejas de una forma más versátil.

Para el desarrollo de este proyecto se empleó un programas el cual es utilizado en una variedad de áreas de aplicación incluyendo procesamiento de señales e imágenes, diseño de sistemas de control, ingeniería financiera e investigación médica, el mismo es un programa especializado para realizar cálculos numéricos. En general, matrices y vectores son el corazón de este, todos los datos son almacenados como vectores. Además de esto cuenta con herramientas de desarrollo como la GUI (Graphic User Interface), la cual permite generar entornos gráficos para las diferentes aplicaciones [27].

CAPÍTULO III

DISEÑO DE LA INCUBADORA

El diseño de nuevos equipos e incubadoras para embriones de pollo es crucial en el progreso de los estudios del desarrollo embrionario del ave, así como en la ingeniería aplicada a la medicina, farmacología y en el desarrollo y mejora de la producción de huevos de consumo y aves de corral (producción industrial). Se plasma a continuación el proceso previo y la búsqueda de la solución hacia el diseño de una incubadora que permita modificar y controlar los diversos factores y variables involucradas en la incubación artificial de embriones de pollo, para efectuar los ensayos que se llevan a cabo en el Instituto Anatómico “José Izquierdo”.

Existen diferentes métodos a seguir en función de expandir las posibilidades en búsqueda de ideas y soluciones, cuando se emprende un proyecto de diseño y construcción. Teniendo establecidos las exigencias, necesidades, parámetros y objetivos que se quieren alcanzar, se plantean un conjunto de acciones y los medios, que lograrán como resultado la construcción del prototipo final.

De manera metodológica, en una marcha ascendente, partiendo de lo sencillo a lo complejo, se realizan diferentes modelos con los que se representan el diseño deseado. Con los mismos se elaboraron pruebas, experimentos y demostraciones las cuales ayudaron a definir y discutir ideas entre los diseñadores y las partes responsables del proyecto (personal del instituto).

La elaboración de prototipos (véase el ANEXO 8) apoyó la labor para la realización de prototipos, clasificando los requisitos y definiendo las opciones previas antes de la elaboración definitiva de la incubadora.

Ahora bien, para abordar el diseño global del dispositivo, se pensó dividir en 5 secciones o tópicos a desarrollar:

1. Diseño del sistema de control pasivo de la humedad relativa.
2. Diseño de la unidad de calentamiento.
3. Diseño de la estructura general.
4. Diseño del sistema de control activo de temperatura.
5. Modelado y simulación en transferencia de calor.

Estos tópicos se crearon con la finalidad de organizar el proyecto y lograr un desempeño satisfactorio en la ejecución del mismo. Dándole la importancia que ameritan, se describe a continuación cada una de las secciones de forma general, y luego en detalle, siempre enfocados hacia el objetivo último, que es la realización de la incubadora requerida por el instituto.

El sistema de rotación de los huevos no ha sido incluido en ninguno de los prototipos realizados en este proyecto. Para efectuar los experimentos de inoculación de los embriones y los ensayos que ejecuta el laboratorio, es necesario instrumentar a los huevos para mediciones eléctricas, acústicas y de video, esto no permite la movilidad ni rotación de los mismos mientras estén instrumentados. El desarrollo embrionario se lleva a cabo sin rotación.

3.1 Diseño del Sistema de Control Pasivo de la Humedad Relativa

3.1.1 Humedad Relativa

Este es otro aspecto a considerar en incubación artificial en el ambiente dentro de una incubadora y en cual se debe hacer un énfasis. La pérdida de agua en los huevos se asocia generalmente con una pérdida de calidad en los ensayos. La humedad absoluta, se refiere a la masa de vapor de agua presente en una unidad de masa de aire seco. Sin embargo ésta, varía según la temperatura y la presión. Se define como [26]:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (9)$$

La humedad relativa (H.R) refleja la cantidad de vapor de agua que contiene el aire con respecto a la cantidad máxima que es capaz de contener a la misma temperatura. Es la razón entre la presión parcial de vapor actual, y la presión de vapor de saturación, expresada generalmente en porcentaje.

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} \quad (10)$$

3.1.2 Tipos de Sensores para Medición de la Humedad Relativa

No existe una tecnología de medición que sea apropiada para todas las aplicaciones. Las mediciones de humedad relativa pueden ser hechas por sensores basados en: psicrometría, desplazamiento, resistivos, capacitivos y por absorción de líquido, por condensación, entre otros. [24]. Revisemos algunos de ellos:

3.1.2.1 Sensores por Psicrometría

Se basa fundamentalmente en la medición de temperatura, para deducir la cantidad de vapor de agua presente en una mezcla gaseosa. Consiste en disponer

dos termómetros, con uno de ellos se mide la temperatura de la mezcla (temperatura de bulbo seco) y con el otro la temperatura de la superficie de una película de agua.

3.1.2.2 Sensores Resistivos

Compuestos de un sustrato cerámico aislante sobre el cual se deposita una grilla de electrodos. Estos electrodos se cubren con una sal sensible a la humedad embebida en una resina (polímero). La resina se recubre entonces con una capa protectora permeable al vapor de agua. A medida que la humedad permea la capa de protección, el polímero resulta ionizado y estos iones se movilizan dentro de la resina. Cuando los electrodos son excitados por una corriente alterna, la impedancia del sensor se mide y es usada para calcular el porcentaje de humedad relativa.

3.1.2.3 Sensores por Desplazamiento o Mecánicos

Utiliza un mecanismo para medir la expansión o contracción de cierto material, en presencia de humedad. Algunos materiales comunes son algunas fibras orgánicas y sintéticas como el nylon y la celulosa [26].

3.1.2.4 Sensores Capacitivos

Son de fácil producción, bajo costo y alta fidelidad. El principio en el cual están basados, es en el cambio de la capacidad (en Farad) de un condensador al variar la constante dieléctrica del mismo.

3.1.2.5 Sensores por Condensación

Basados en la medición de la temperatura de rocío la cual permite calcular la humedad relativa, por medio de un dispositivo [26].

3.1.3 La Humedad Relativa y las Soluciones de Sales Saturadas

Para lograr el buen desempeño de los ensayos de incubación y buen desarrollo de los embriones de pollo durante los mismos, se hace necesario tener el control de la humedad relativa dentro del recinto. Algunas aplicaciones como la calibración de higrómetros, condicionamientos de materiales y estudios de deterioro de edificaciones, requieren del control preciso de la humedad en los espacios de trabajo. El método común de controlar este parámetro es usar un generador de humedad o buscar el equilibrio en un espacio cerrado con algún sistema químico [28].

Los generadores de humedad tienden a ser costosos y complejos. Con los sistemas químicos que proveen puntos específicos, se genera el *Método de los Puntos Fijos de Humedad Relativa*, el cual es sencillo y de bajo costo. Entre los más usados para este propósito están, las soluciones de agua, soluciones saturadas individuales y binarias, soluciones de ácido sulfúrico acuosas y glicerina. Por otro lado uno de los problemas asociados a este método está en que la concentración de las sales y químicos usados debe ser medida y controlada.

No sólo la concentración de la solución debe determinarse inicialmente, sino también la presencia de cualquier fuente de humedad en el espacio controlado, ya que esto puede alterar la concentración en el proceso de equilibrio.

Uno de los procedimientos de soluciones químicas más usados para el control de la humedad es la utilización de las soluciones saturadas acuosas, en las cuales el soluto es poco volátil. A cualquier temperatura, la concentración de una solución saturada es precisa. Proporcionando exceso de soluto, la solución permanecerá saturada aún en presencia de pequeñas fuentes de humedad. Con esto se ha podido realizar una escala de humedad certificada, la cual es usada para el método de los puntos fijos.

Los puntos de humedad relativa representados en esta escala, son valores específicos, que se han establecido a una cierta temperatura sobre la solución de sal saturada, surgiendo de las propiedades higroestáticas de cada solución [29]. Por medio de esto, en la escala se indican las condiciones bajo las cuales estas soluciones pueden ser usadas como soluciones higroestáticas.

El método de puntos fijos es reproducible, por esto es usado frecuentemente para la calibración y chequeo de instrumentos que son generalmente utilizados en la industria y laboratorios de investigación para medir la humedad relativa del aire.

En la incubadora que se construyó para el laboratorio, se indagó en la literatura sobre las condiciones que algunas sales producen sobre la humedad relativa del aire. Se buscaron sales saturadas, según los indicadores de: humedad relativa en un rango cercano a 60% - 75 %, y a una temperatura próxima a la de trabajo (37 °C).

Se seleccionaron varias sales con valores próximos a los indicadores anteriores. El ioduro de potasio o potasio ioduro (KI) [29], que produce 67.0 ± 0.3 % de humedad relativa a una temperatura de 35 °C. El cloruro de sodio (NaCl), que produce una H. R de 75% a 30°C [30] y el nitrato de sodio (NaNO₃), que produce 71% de R.H a 35°C [31].

Buscando en el mercado local la disponibilidad y comparando precios, se decidió realizar el control de la humedad relativa dentro de la incubadora con la sal de cloruro de sodio, esto por su bajo costo, fácil adquisición y porque la misma es inerte químicamente antes los organismos vivientes que se colocarán dentro del recinto (huevos de pollo). Adicionalmente en el ANEXO 3, se puede ver la cotización de la sal potasio ioduro.

3.2 Selección de la Unidad de Calentamiento

En el proceso de incubación artificial existen distintas opciones al momento de la selección del sistema de producción de calor, generalmente en lugares donde el procedimiento de incubación es aplicado utilizan resistencias eléctricas de diferentes formas y tamaños y bombillos de bajo voltaje como medio de calentamiento.

Para nuestro diseño seleccionamos una resistencia eléctrica en espiral (como las usadas en hornillas eléctricas), y un bombillo de bajo voltaje (60 w) como opciones a evaluar, ya que ambas son de bajo costo, se ajustaban a nuestras necesidades de espacio y muy importante la alta disponibilidad en el mercado.

Tanto para la resistencia como para el bombillo se realizaron una serie de pruebas en un recinto cerrado (caja de madera) con un termómetro bimetálico y un ventilador en su interior y se observó el comportamiento de la temperatura en el recinto (véase el ANEXO 8).

Una vez culminadas las pruebas se determinó que la resistencia en espiral presentó un mejor comportamiento, ya que a pesar de introducir una potencia excesiva al recinto esta podía ser minimizada por un transformador eléctrico adecuado, además se observó mayor velocidad de calentamiento.

Por último se realizó la debida caracterización de la resistencia que se muestra a continuación.

3.2.1 Caracterización del Elemento Resistivo

Descripción: Se realizó un ensayo con el cual se obtuvieron valores característicos del elemento resistivo utilizado. En este caso es un hilo de resistencia de cocina (*Figura 6*), al que se le midieron sus dimensiones geométricas inicialmente. El ensayo fue realizado en el laboratorio del Instituto Anatómico José Izquierdo, a aproximadamente 17 °C de temperatura dentro del lugar.

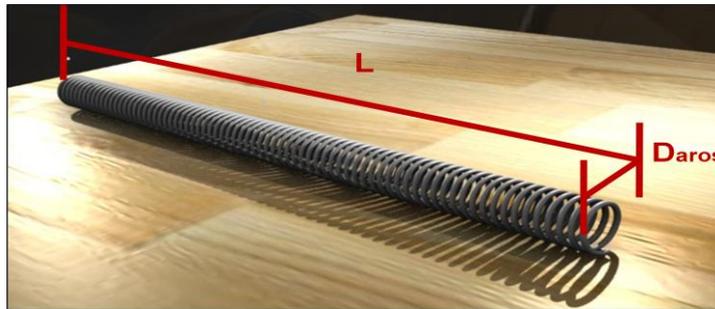


Figura 6. Representación del elemento resistivo utilizado.

Objetivo del ensayo: Conocer si para los rangos de temperatura que se quieren alcanzar, la resistencia puede ser montada sobre cualquier material que no necesariamente tenga una alta resistencia a la temperatura.

Material: Se supone en un principio un hilo hecho de nicromo (Ni-Cr), para el cual se buscan todas las propiedades necesarias en la literatura.

Propiedades: Para el nicromo se tienen las siguientes propiedades [35].

Tabla 1. Propiedades del nicromo (Ni-Cr).

| Material | Emisividad | Coeficiente de Resistividad [$\Omega * m$] | Propiedades Térmicas | |
|----------|-------------|---|---|--|
| | | | Calor Específico [$\frac{j}{kg * ^\circ C}$] | Conductividad Térmica [$\frac{w}{m * ^\circ C}$] |
| Nicromo | 0,65 – 0,79 | 150×10^{-8} | 430 | 11,2 |

Mediciones de la geometría: las medidas tomadas fueron las siguientes:

$$L = 116,5 \text{ cm aprox.}$$

$$D_{aros} = 4,90 \text{ mm aprox.}$$

$$D_{hilo} = 0,89 \text{ mm aprox.}$$

$$Paso = 3,35 \text{ mm aprox.}$$

Mediciones del volumen: la medida tomada fue la siguiente:

$$V_{resistencia} = 5ml \text{ aprox.}$$

Equipos utilizados:

Para realizar los procedimientos se emplearon los siguientes equipos:

- Fuente de poder de 0 - 30 V dc, de voltaje variable.
- Multímetro Fluke 87. +/- 1mA.
- Multímetro UniT UT70B. +/- 0,01 V. +/- 1 °C. Termocupla tipo J.
- Vernier +/- 0,01 mm.
- Cinta métrica +/- 0,1 cm.
- Cilindro graduado de 500 ml +/- 5 ml.

Desarrollo y procedimiento:

El experimento se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- Una vez tomadas las dimensiones se realizó un montaje, con la finalidad de medir la temperatura interna de la resistencia.
- Se enrolló la resistencia en un envase de agua de dos litros, sin que esta hiciera contacto con ella misma.
- Se colocó la termocupla dentro de los aros de la resistencia.
- La fuente de poder se conectó a los extremos de la resistencia.
- Los multímetros se conectaron simultáneamente a la resistencia durante todo el ensayo. Uno para medir la intensidad de corriente, y el otro para medir la temperatura de la termocupla y el voltaje producido por la fuente de poder.
- Se varió el voltaje de la fuente de poder, desde 2 V hasta 20 V. Cada 2 V se midió la temperatura y la intensidad de corriente.

En las *Figura 7* y *Figura 8* se muestra el montaje y los equipos utilizados para el mismo.

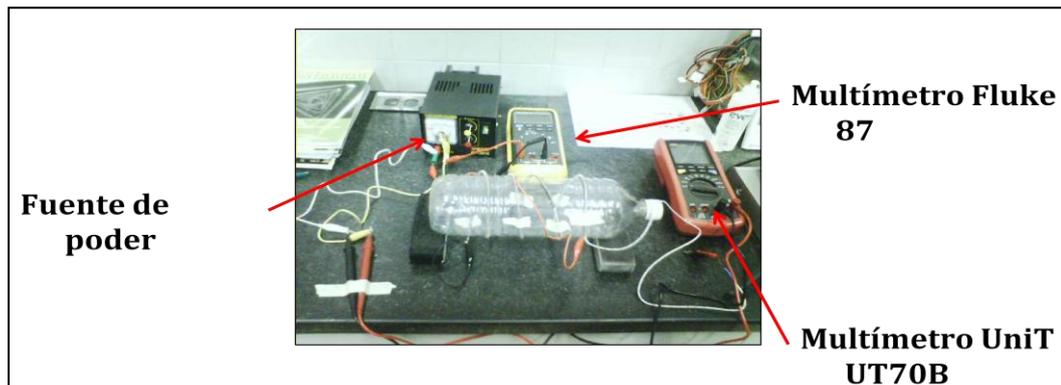


Figura 7. Representación de los equipos utilizados para caracterizar el elemento resistivo.

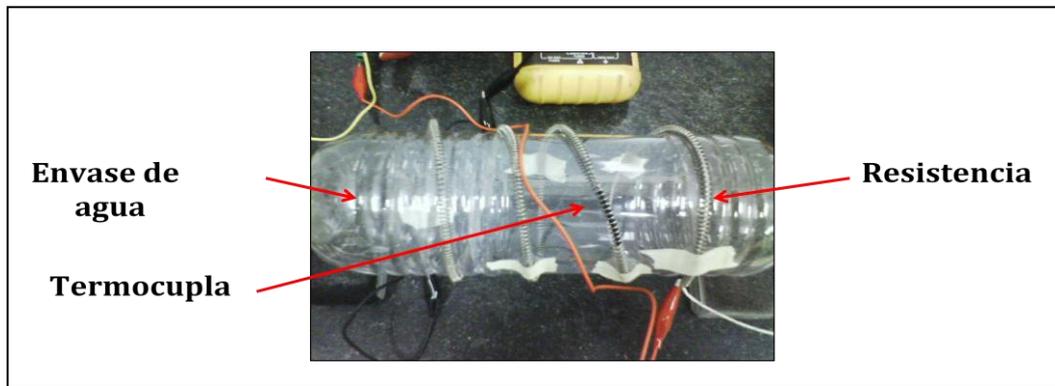
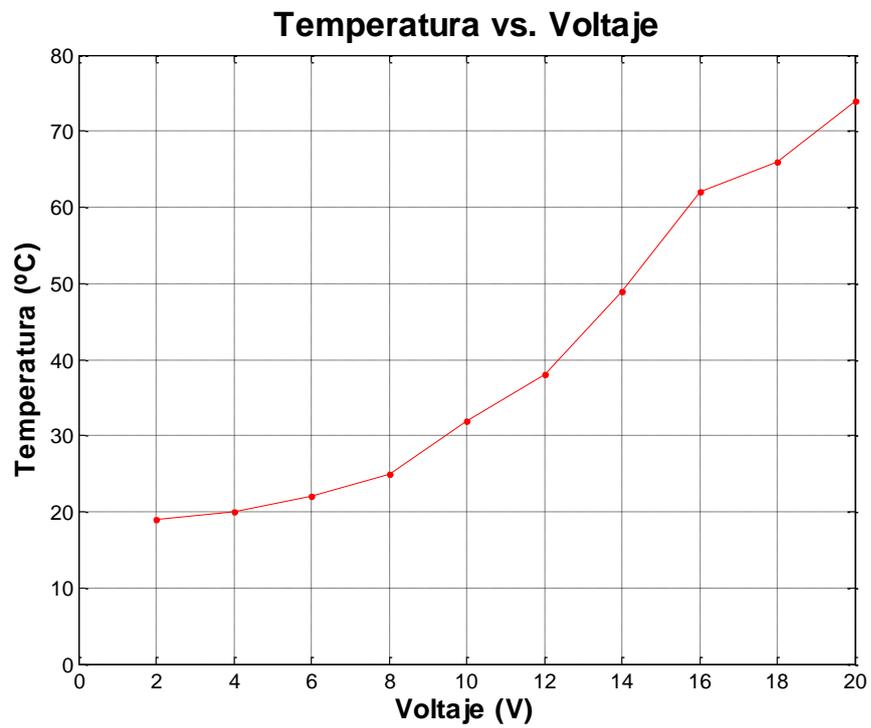


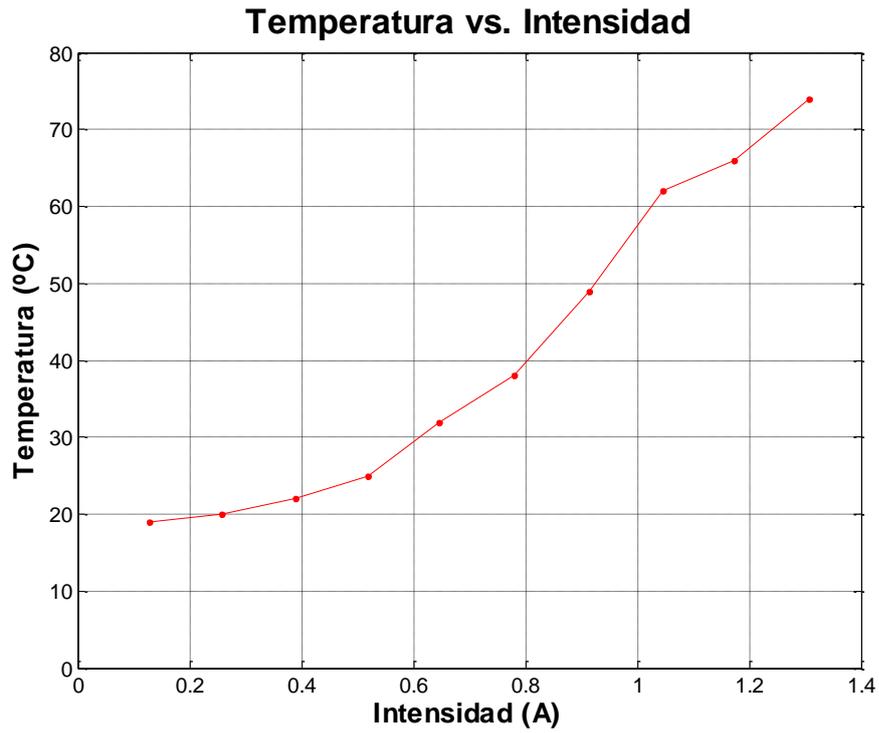
Figura 8. Representación del elemento resistivo utilizado.

Resultados del experimento con el elemento resistivo:

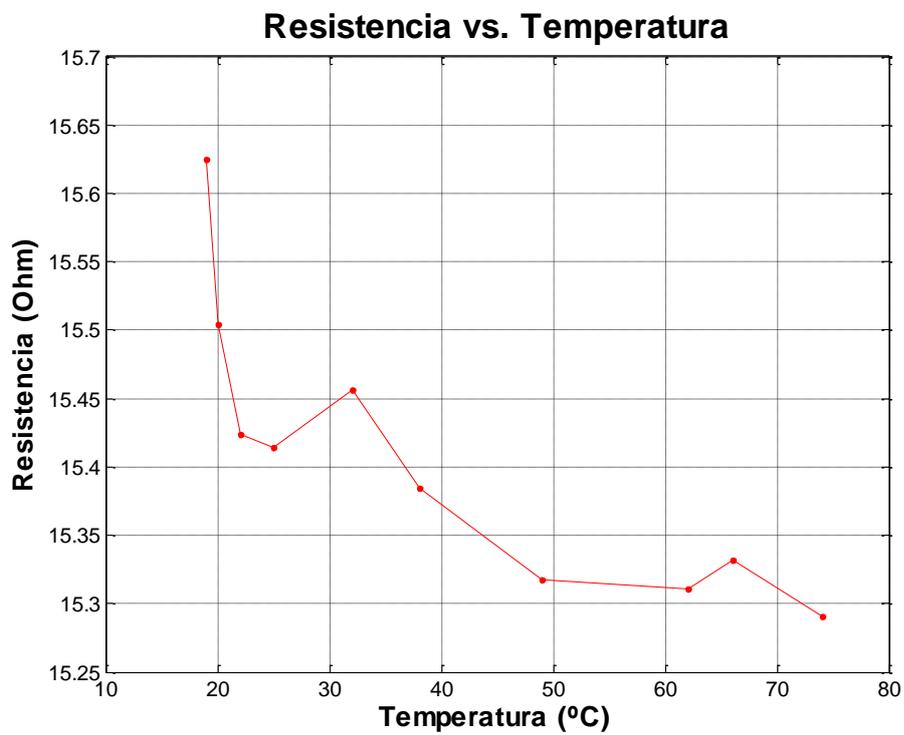
De las medidas adquiridas se realizaron las siguientes *Gráficas*:



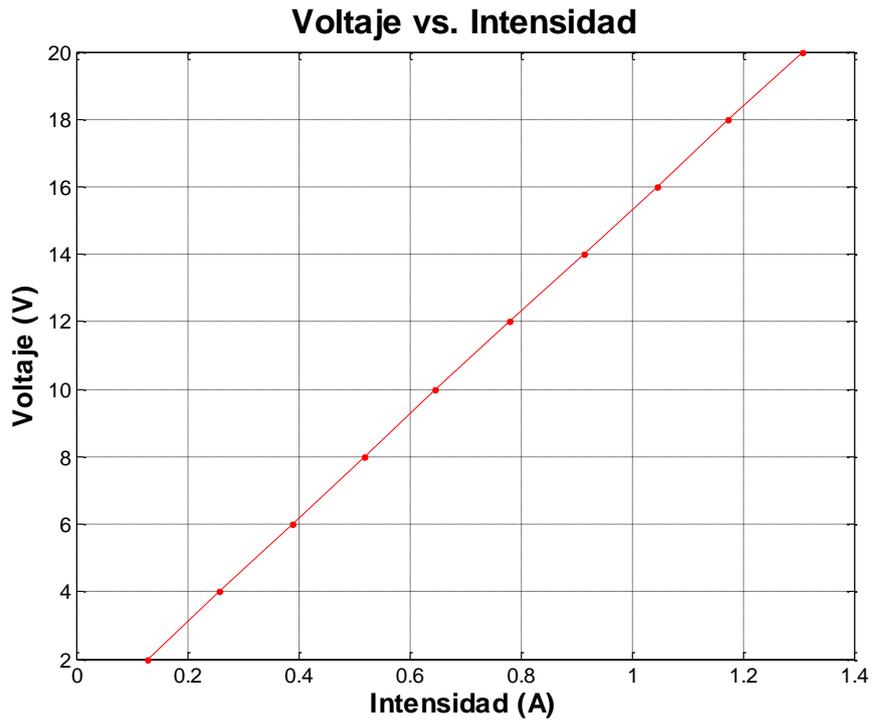
Gráfica 1. Temperatura vs Voltaje del elemento resistivo.



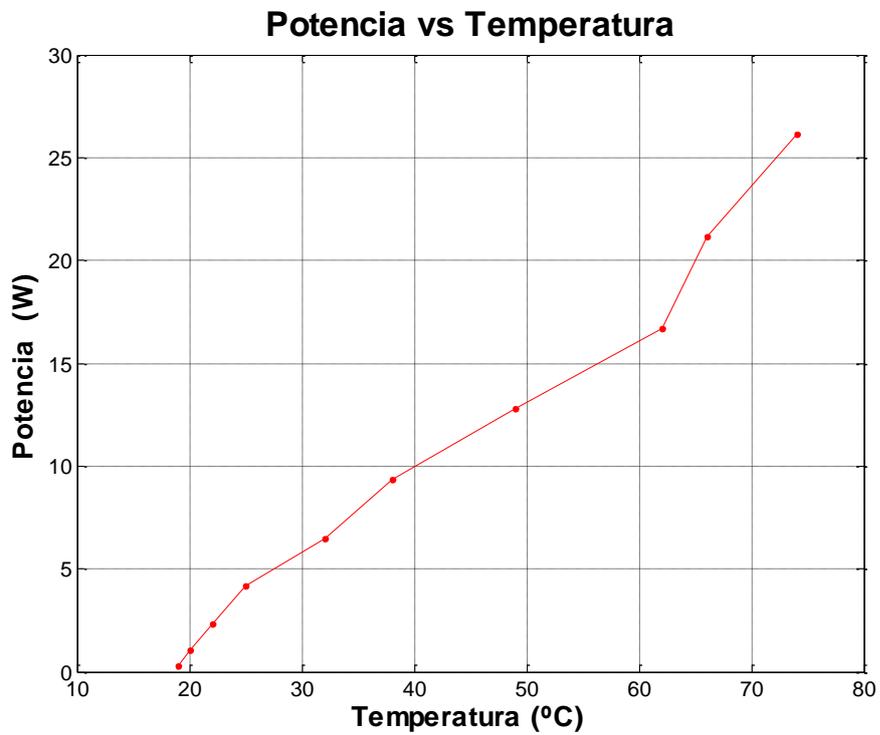
Gráfica 2. Temperatura vs Intensidad del elemento resistivo.



Gráfica 3. Resistencia vs Temperatura del elemento resistivo.



Gráfica 4. Voltaje vs Intensidad del elemento resistivo.



Gráfica 5. Potencia vs Temperatura del elemento resistivo.

De la *Gráfica 3* se tiene el valor de la resistencia en frío (a temperatura ambiente): $15,63\Omega$. La ecuación de la resistividad es:

$$R = \rho \frac{L}{A_{Trnasversal}} \quad (11)$$

En la que están: ρ que es el coeficiente de resistividad, L la longitud del elemento resistivo y $A_{Trnasversal}$ el área de su sección transversal. Teniendo los valores dimensionales medidos, y el valor de resistencia se calcula el coeficiente de resistividad:

$$\rho = \frac{R * A_{Trnasversal}}{L} = \frac{15,3841\Omega * \pi * (0,89 \times 10^{-3}m)^2}{4 * 5,3451m}$$

$$\rho = 181,9168 \times 10^{-8} \Omega * m$$

Análisis de los resultados:

- El voltaje y la intensidad de corriente varían de manera proporcional.
- El valor de la resistencia del hilo, no varía mucho con respecto a la temperatura de la misma.
- Para alcanzar una potencia de aproximadamente 26 w, se hace llevando la temperatura interna de la resistencia a 70 °C.
- El rango de potencia que se obtiene, se logra con bajos voltajes dc.
- El valor del coeficiente de resistividad calculado, se comparó con el de la *Tabla 1*. Comprobando que el material con el que se trabaja es nicromo (Ni-Cr).

-

Conclusiones:

- Para los efectos de uso de la resistencia, su valor será considerado como constante.
- Se utilizará corriente dc para alimentar la resistencia.

- Debido a que las temperaturas alcanzadas por la resistencia no serán mayores a 80 °C, podrá ser montada en materiales que no tengan alta resistencia a la temperatura.
- Los rangos de potencia alcanzados, generan temperaturas adecuadas para el calentamiento de la incubadora para estudios en embriones de pollo.
- El material con que se trabaja es nicromo.

3.3 Diseño Morfológico y Estructural

El ambiente en el que se realizan los experimentos de inoculación y seguimiento de los embriones de pollo es en el seno de la incubadora. Es necesario garantizar un entorno en el cual el embrión o los embriones, puedan ser instrumentados y colocados, de manera que se consiga llevar a cabo los diferentes ensayos.

Primeramente para establecer las dimensiones, la estructura y distribución de espacio dentro de la incubadora que se desea construir, se hace énfasis en las necesidades y requerimientos planteados.

Luego de que se estableció el contexto, se realizó entonces una tormenta de ideas donde se decidiría la forma de la estructura de la incubadora. Varios modelos de incubadora se pensaron en la tormenta. La misma fue efectuada en la presencia de los integrantes de la tesis y del personal que labora en el instituto el cual utiliza la incubadora.

Una vez hechos los bocetos (véase el ANEXO 4) de lo que se quería expresar, se escogieron los más destacados en función de la decisión de las partes involucradas y por medio de la utilización de programas computacionales se llevaron estos bocetos del papel, a una representación en tercera dimensión (3D) (véase el ANEXO 12), adicionalmente en el manual adjunto, pueden revisarse las piezas que conforman a la incubadora final que se construyó. A continuación una lista de las principales partes que tiene la unidad:

Tabla 2. Piezas características de la unidad.

| Partes Mecánicas | |
|---|-----------------|
| Pieza / Parte | Cantidad |
| Carcasa con Forma de Cilindro | 1 |
| Tapa Superior | 1 |
| Subtapa Superior | 1 |
| Tapa Inferior | 1 |
| Soporte del Ventilador Interno | 1 |
| Ventilador Interno | 1 |
| Bandeja para Huevos de Pollo | 1 |
| Barras Roscadas | 4 |
| Patas de Goma | 4 |
| Cilindro Central de PVC | 1 |
| Hilo de Resistencia | 1 |
| Soporte PVC para el Hilo de Resistencia | 1 |
| Pasador Para el Hilo de Resistencia | 1 |
| Tuercas | 30 |
| Arandelas | 36 |
| Mariposas | 4 |
| Guía de Cable Superior | 1 |
| Guía de Cable Inferior | 1 |
| Canaleta de 1x1cm | 1 |
| Partes Eléctricas | |
| Pieza / Parte | Cantidad |
| Panel de Control | 1 |
| Sensor LM335 | 1 |
| Cable de la Resistencia | 1 |
| Cable del Ventilador | 1 |
| Cable de Alimentación Panel de Control | 1 |

En el mercado existen gran variedad de programas los cuales no solo permiten llevar a 3D los dibujos realizados, sino también admiten la elaboración y validación de diseños mecánicos, pudiendo con esto plasmar planos con medidas reales y tolerancias. A cada uno de los elementos y estructuras que se construyeron se le realizaron sus planos (véase el ANEXO 7).

Ahora bien, la carcasa es de vital importancia, la misma debe ayudar en el aislamiento con respecto al medio ambiente, proporcionar un recinto que mantenga el calor necesario para el desarrollo de los embriones y junto con el

sistema de control de la temperatura, lograr que el prototipo sea capaz de reaccionar ante los cambios ambientales de manera adecuada. Además de permitir los accesos necesarios y exigidos para las mediciones que se efectúan durante las pruebas.

En una marcha ascendente, partiendo de lo sencillo a lo complicado, se realizan diferentes modelos con los que se representan de manera limitada el diseño deseado. Con los mismos se elaboraron pruebas, experimentos y demostraciones las cuales ayudaron a definir y discutir ideas entre los diseñadores y las partes responsables del proyecto (personal del instituto). Los modelos y maquetas, fueron pensados con la intención de entender el comportamiento de la temperatura y la transferencia de calor en un recinto cerrado, cuya fuente de calor se encuentra en el ceno del mismo, clarificando los requisitos y definiendo alternativas previas antes de la elaboración del prototipo final. En el ANEXO 8, se pueden ver algunas imágenes de las maquetas construidas y elaboradas.

La maqueta final es de estructura cilíndrica. Se seleccionó esta forma debido a varias razones, como por ejemplo la facilidad para su construcción. El cilindro fue obtenido de una tubería de PVC (Policloruro de Vinilo, que es un tipo de plástico), la cual se mecanizó a la medida deseada, lográndose una sola pieza para lo que es la carcasa. Esto produce ventaja al momento de tener que desarmarse para realizar revisiones, mantenimientos o limpiezas. La incubadora es 100% desarmable, lo que puede hacerse de manera rápida gracias a su diseño.

La forma cilíndrica minimiza la cantidad de puntos de estancamiento del flujo de aire lo que promueve una mejor distribución de temperatura dentro de la unidad. Además permite una óptima distribución de los componentes internos como son el ventilador, la resistencia y la bandeja para los huevos, facilitando la manipulación y colocación de la instrumentación, gracias a los diversos accesos que posee.

La estructura definitiva que se seleccionó, satisface todas las necesidades planteadas y exigencias de los ensayos realizados en el laboratorio.

3.4 Diseño del Sistema de Control Activo de Temperatura

La unidad tiene elementos y sistemas eléctricos, por lo que es necesario el planteamiento y desarrollo de los mismos. Durante todo el progreso del proyecto, se fueron realizando diferentes montajes electrónicos, los cuales se optimizaron con el fin de lograr lo que se quería. Elementos de control, circuitos integrados, micro controladores, tarjetas o módulos de adquisición de datos, entre otros, se utilizaron para poder realizar capturas y mediciones de la temperatura necesarias para la construcción de la incubadora.

Para guardar los records de los ensayos realizados, se requirió de la utilización de un sistema controlado por una computadora, lo que permitió obtener resultados en la toma de decisiones del proceso de diseño.

3.4.1 Importancia del Sistema de Control de la Temperatura

Una incubadora es un recinto o recipiente cerrado con una fuente de calor, generado por medio de un elemento o dispositivo y distribuido al recinto con la ayuda de un sistema de circulación de aire, como ya se ha dicho anteriormente. Donde particularmente en este proyecto, se propicia un ambiente artificial para el desarrollo embrionario de huevos de pollo.

Para que los cambios que tienen lugar durante el crecimiento del embrión se den con normalidad, deben existir en los alrededores del huevo condiciones y rangos determinados de temperatura, humedad relativa, ventilación, rotación e higiene de los huevos y calidad del aire. De todos ellos la temperatura será controlada de manera activa, y la humedad relativa de manera pasiva.

El rango de variación de la temperatura dentro del equipo será mantenido por un sistema de control. Esto típicamente se realiza con un lazo cerrado de control, alimentado por una señal de error o actuación que es la diferencia entre el valor de consigna (Set Point) y de realimentación.

Es necesario, para fines de los experimentos que se llevan a cabo en el Laboratorio de Morfología Integral del Instituto Anatómico “José Izquierdo”, que la incubadora sea un sistema que no se vea afectado ante cambios ambientales. Es decir que a pesar de cualquier variación ambiental que exista sobre la temperatura a su alrededor, sea capaz de mantener la misma en el rango de consigna preestablecido para su interior, ya que, inclusive pequeñas variaciones de temperatura podrían afectar la formación de los embriones.

Para que durante el progreso de los experimentos tenga lugar la acción de control sobre la temperatura, se considera la influencia de un proceso en régimen transitorio, no sólo inicialmente cuando la temperatura va desde el un valor inicial hasta que la misma se estabiliza dentro de un rango de consigna preestablecido, sino también a lo largo del progreso del ensayo. Esto, debido a los cambios que genera el ambiente en el interior del recinto.

Tomando en cuenta todo lo anterior es importante hacer notar que el sistema de control de la temperatura contemplará la influencia de la variación de las condiciones externas al equipo, en conjunción con la generación interna de calor debida al metabolismo de de los huevos y al elemento disipador de calor. Como resultado de esto los embriones pueden desarrollarse de forma adecuada para las necesidades exigidas en los ensayos, y así garantizar la repetibilidad del experimento.

3.4.2 Selección del Sensor de Temperatura

Un sistema para censar o medir la temperatura se basa en un sistema de adquisición. Antes de poder diseñarlo, primeramente se debe elegir el sensor que

se utilizará para ello. En el mercado existen cantidad de dispositivos y transductores como termocuplas, termoresistencias (RTD), diodos, termistores, circuitos integrados (CI), entre otros, los cuales pueden hacer esta tarea, pero dependiendo del proceso y aplicación se seleccionó el más adecuado.

Dentro de los diferentes sensores que existen, conociendo sus características, condiciones de trabajo y disponibilidad en el mercado, se realizó una matriz de evaluación con distintos criterios para seleccionar el más idóneo. A continuación está dicha matriz:

Tabla 3. Matriz de selección del sensor para medir la temperatura.

| Sensor | RTD | Termistor | Termocupla (Termopar) | Diodo | C.I |
|-----------------------|------------|------------------|----------------------------------|--------------|------------|
| Característica | | | | | |
| A | 5 | 10 | 5 | 10 | 9 |
| B | 1 | 5 | 1 | 5 | 4 |
| C | 7 | 8 | 5 | 6 | 8 |
| D | 5 | 6 | 5 | 6 | 5 |
| E | 4 | 2 | 4 | 5 | 5 |
| Total | 22 | 31 | 20 | 32 | 31 |

Elección según los parámetros establecidos:

- A. Disponibilidad en el mercado 0-10 (0: no disponible – 10: disponible)
- B. Costos 0-5 (0: costoso– 5: económico)
- C. Precisión 0-8 (0: menos preciso – 8: mayor precisión)
- D. Velocidad de respuesta 0-6 (0: menos velocidad – 6: mayor velocidad)
- E. Rango funcional de temperatura 0-5 (0: menor rango – 5: mayor rango)

Los puntajes y rangos de valores, fueron elegidos en función de las investigaciones efectuadas con respecto a cada uno de los sensores. Adicionalmente se realizaron montajes con aquellos que se pudieron adquirir.

De la matriz anterior fueron escogidos los diodos, circuitos integrados y termistores, en vista de las diversas ventajas que ofrecen.

Los diodos presentan una variación pequeña en la señal de salida, por lo que requieren de amplificadores de ganancia. Los termistores se rigen por una curva característica, la cual presenta un rango de linealidad muy limitado con lo que el circuito electrónico se complica para la mayor parte de las aplicaciones. Los mismos no permiten realizar mediciones precisas fuera de este rango de linealidad (véase el ANEXO 5). Lo que nos lleva a la elección de un circuito integrado para censar la temperatura.

En particular estos circuitos son muy adecuados y utilizados para medir temperaturas cuando se usa sistema de toma de datos. Son dispositivos naturalmente lineales, cuya señal de salida es proporcional a la temperatura absoluta que miden.

Se pueden encontrar varias opciones de CI en el mercado, por la disponibilidad, costo y características fue elegido el LM335 (véase el ANEXO 1),

3.4.3 Sistema de Adquisición de la Señal del Sensor y Control de la Temperatura

Existen diferentes formas de realizar la adquisición de la temperatura de un sistema o en un proceso determinado. A través de los años y en las últimas décadas el avance de la tecnología ha propiciado la aparición de diversos métodos para lograr este objetivo. Desde construir diseños electrónicos con circuitos integrados (CI) y/o amplificadores operacionales (OA), micro controladores (PIC), hasta tarjetas especializadas capaces de adquirir diversos parámetros al

mismo tiempo, entre otros. Los sistemas de adquisición son usados en un amplio rango de aplicaciones en los laboratorios y en el campo, como por ejemplo una planta de manufactura.

Según las exigencias de nuestro proyecto el sistema de adquisición y control de la temperatura debía cumplir con ciertos requerimientos, como son:

1. El ajuste del Set Point o temperatura de consigna.
2. La adquisición de la señal del sensor.
3. Generar la respuesta de control.
4. Visualización de la temperatura.

Una vez realizada la respectiva investigación se evaluaron dos alternativas

1. Amplificadores operacionales.
2. Microcontroladores.

Tabla 4. Matriz de selección del sistema de adquisición de la señal del sensor y control de la temperatura.

| Opción a evaluar | Amplificadores Operacionales | Microcontroladores PIC |
|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Característica | | |
| A | 10 | 10 |
| B | 10 | 10 |
| C | 7 | 10 |
| D | 7 | 10 |
| E | 5 | 5 |
| F | 4 | 5 |

| | | |
|-------|----|----|
| G | 8 | 5 |
| Total | 51 | 55 |

Elección según los parámetros establecidos:

- A. Ajuste de la temperatura de consigna 0-10 (0: no cumple – 10: cumple)
- B. Adquirir la señal del sensor 0-10 (0: no cumple – 10: cumple)
- C. Respuesta de control 0-10 (0: no cumple – 10: cumple)
- D. Visualización de la temperatura 0-10 (0: no cumple – 10: cumple)
- E. Disponibilidad en el mercado 0-5 (0: no disponible – 10: disponible)
- F. Espacio y complejidad de montaje 0-5 (0: no cumple– 5: cumple)
- G. Costos 0-8 (0: costoso– 8: económico)

Según la evaluación realizada por medio de la matriz, fue seleccionado como sistema de adquisición y control de la temperatura el microcontrolador. De la variedad que existe en el mercado se escogió específicamente el PIC 16F876 por la cantidad de líneas o puertos entrada /salida disponibles y por tener un convertidor analógica/digital integrado.

3.4.3.1 Programación del PIC16F876

Para la elaboración del código de programación del pic16F876, es necesaria la implementación de un programa de computador compilador basado en el lenguaje de programación C++, lo cual permite el uso de algoritmos y relaciones matemáticas. El código elaborado en dicho programa es pasado posteriormente a un programa ensamblador, que es utilizado para configurarlo y cargarlo en el microcontrolador por medio de un circuito conectado al puerto serial de la computadora. En el ANEXO 15 se muestra el circuito seleccionado o programador, para cargar el código al PIC16f876.

3.4.3.2 Esquema del Montaje del Circuito en General

Se muestra a continuación una tabla con los diferentes elementos que componen el panel de control de la unidad.

Tabla 5. Materiales que conforman el montaje del circuito general.

| Pieza / Parte | Cantidad |
|---|-----------------|
| Ventilador 12Vdc. 8cm diámetro | 1 |
| Transformador 110Vac - 12Vdc, 0,5A | 1 |
| Transformador 110Vac - 5Vdc, 0,5A | 1 |
| Transformador 110Vac - 30Vac, 3A | 1 |
| Microcontrolador Pic16F876 | 1 |
| Amplificador de instrumentación INA-121P | 1 |
| Puente rectificador 400V,3A | 1 |
| Transistor NPN-TIP122 | 1 |
| Circuito integrado CD4094 | 3 |
| Display HDH 103 | 3 |
| Capacitor cerámico 22pf | 2 |
| Capacitor electrolítico 10000µf | 1 |
| Fusible 250Vac, 1A | 1 |
| Resistencia de precisión 100KΩ | 1 |
| Resistencia 100Ω | 3 |
| Resistencia 1KΩ | 2 |
| Resistencia 2KΩ | 24 |
| Resistencia 5KΩ | 1 |
| Resistencia 220Ω | 1 |
| Diodo | 1 |
| Led Amarillo | 1 |
| Oscilador de cuarzo 4Mhz | 1 |
| Baquelitas perforadas 5cmx7cm | 4 |
| Conexión hembra para panel | 2 |
| Pulsadores On-Off para panel | 3 |
| Pulsadores Para panel | 3 |
| Caja metálica | 1 |

En la *Figura 9* se muestra el diagrama general de toda la circuitería para la adquisición y el control de la temperatura.

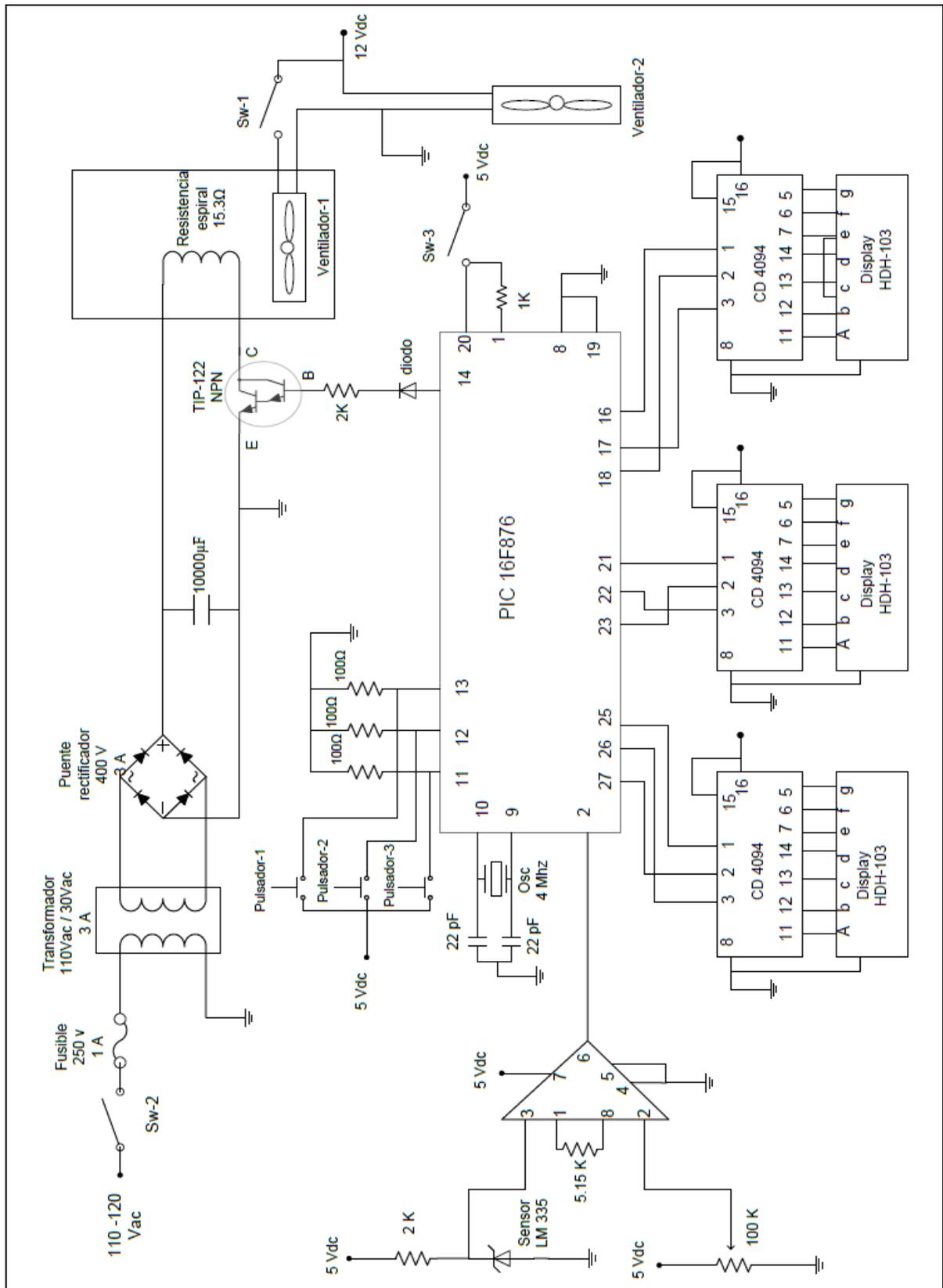


Figura 9. Esquema del montaje del circuito general.

3.4.3.3 Configuración del Microcontrolador PIC 16F876

La conexión básica del PIC16F876 (Figura 10) consta de una línea de alimentación con una tensión comprendida entre 2 Vdc y 5.5 Vdc en sus pines uno (1), ocho (8) y veinte (20). Adicionalmente se recomienda colocar una resistencias de aproximadamente un kilo ohmios (1K) en el pin uno (1) como protección. Por otra parte el pin diecinueve (19) es el correspondiente a la masa.

La frecuencia de trabajo del microcontrolador es gobernada por un cristal de 4 MHz, porque garantiza mayor precisión y un buen arranque del PIC. Internamente esta frecuencia es dividida por cuatro lo que hace que la frecuencia efectiva de trabajo sea de 1 MHz, por lo que cada instrucción se ejecutara en un microsegundo. El cristal debe ir acompañado de dos condensadores de aproximadamente 22 pico faradios.

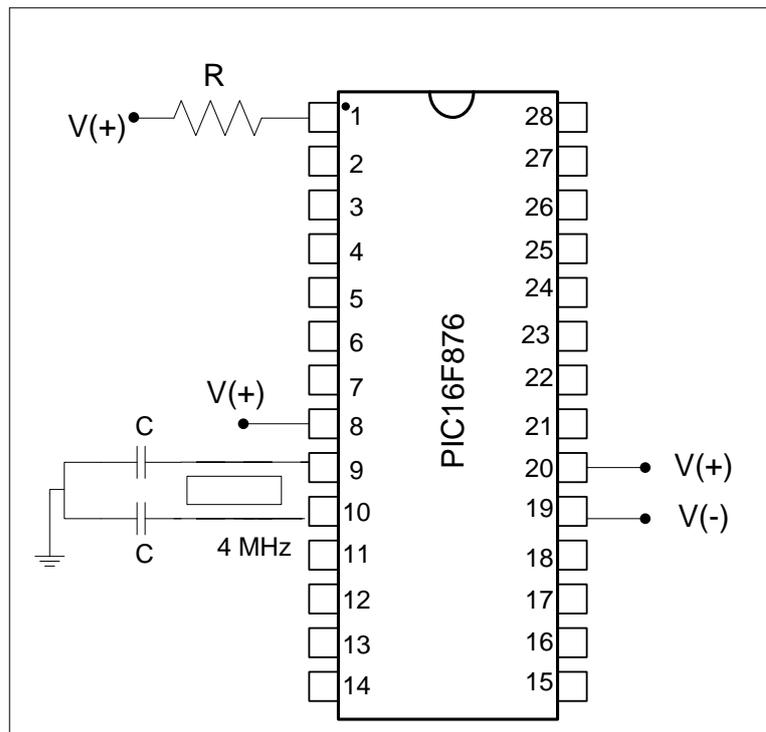


Figura 10. Conexión general del PIC16F876. V (+) = 5Vdc, R=1K y C=22 pf.

3.4.3.4 Visualización de Parámetros (Temperatura Medida y Temperatura de Consigna)

La lectura del valor de temperatura es por medio de tres display siete segmentos, en cada uno se muestra un dígito de ese valor. La *Figura 11* corresponde al montaje para un sólo dígito. La interacción entre el PIC y el display es mediante el circuito integrado CD4094 conectado a tres de los pines E/S del PIC definidos por programa.

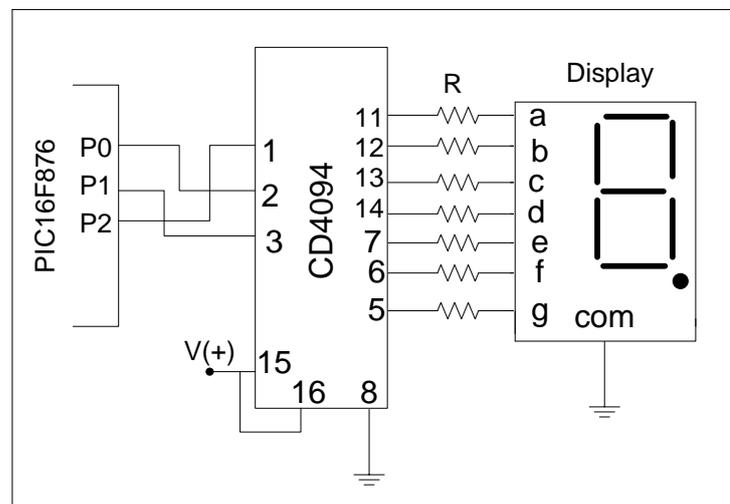


Figura 11. Conexión para la visualización de un dígito. $V (+) = 5Vdc$ y $R = 2K$.

3.4.3.5 Adquisición de la Señal del Sensor

En la *Figura 12* se muestra la conexión del sensor LM335 a uno de los pines E/S del PIC configurado por programa. Adicionalmente se adhirió al circuito el amplificador de instrumentación INA-121P, para aumentar la resolución de la señal manejada por el controlador.

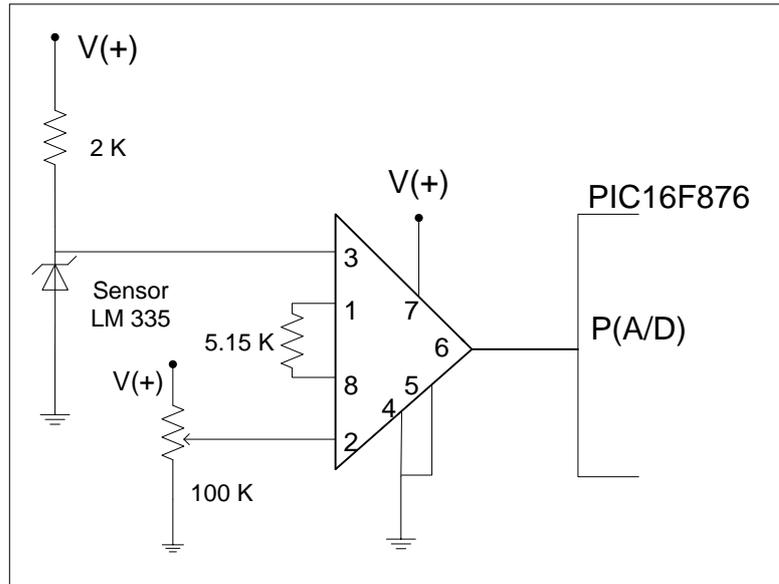


Figura 12. Conexión para la adquisición de la señal del sensor. V (+) = 5Vdc.

3.4.3.6 Ajuste de la Temperatura de Consigna

El valor de la temperatura de consigna es introducido al PIC, un dígito a la vez. Los pulsadores son usados para ajustar el valor deseado y confirmar el mismo. El PIC recibe la tensión enviada por los pulsadores y por medio de tres de sus pines E/S configurados por programa. El circuito para la carga de los dígitos del valor de consigna se muestra en la *Figura 13*.

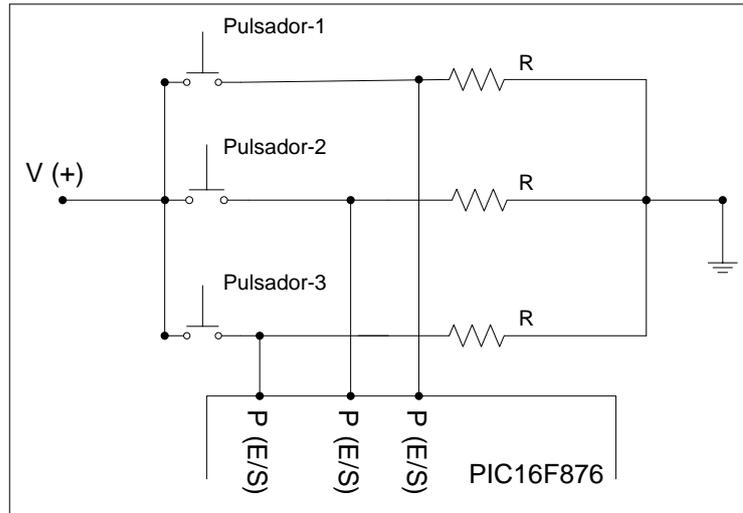


Figura 13. Circuito para introducir el valor de consigna. $V (+) = 5Vdc$ y $R = 100\Omega$.

3.4.3.7 Respuesta de Control

El PIC genera una salida PWM en uno de sus pines E/S. La señal enviada por el microcontrolador es recibida por un transistor NPN encargado de controlar la tensión proporcionada a la unidad de calentamiento. El circuito se muestra en la *Figura 14*.

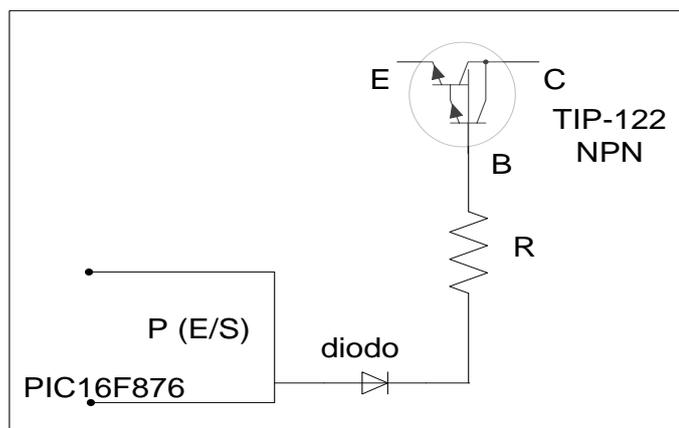


Figura 14. Conexión para la señal de control. $R = 2K$.

3.4.4 Acción de Control Utilizada

Para la selección de la acción de control se evaluaron tres alternativas, las mismas fueron programadas y cargadas en el PIC16F876 bajo los siguientes planteamientos:

3.4.4.1 Acción de control On-Off

En la *Figura 15* se muestra en forma general el funcionamiento del control On-Off, donde la temperatura medida oscila alrededor de la temperatura de consigna, obedeciendo a una acción condicionada por el microcontrolador PIC16F876, la cual establece que:

$$\%P_i = \begin{cases} 100; & T_i < S_p \\ 0; & S_p \leq T_i \end{cases} \quad (13)$$

Donde:

S_p : Temperatura de consigna (Set Point).

T_i : Temperatura en un tiempo 'i'.

$\%P_i$: Porcentaje de potencia introducido

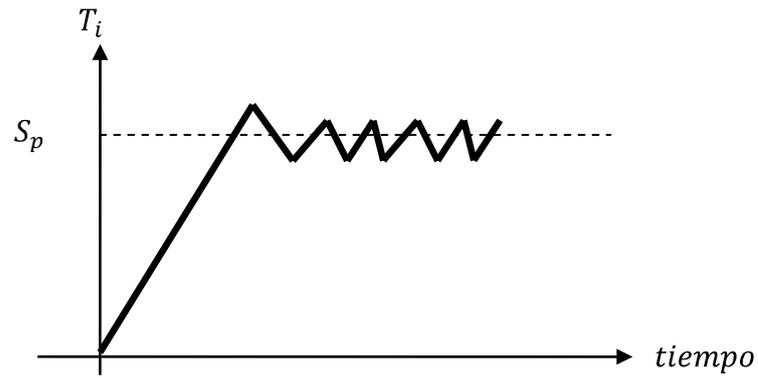


Figura 15. Acción de control On-Off.

3.4.4.2 Acción de Control Proporcional

La estrategia de control planteada está representada en la *Figura 16*, la cual establece que el porcentaje de potencia introducido variaría de forma proporcional cuando la temperatura medida es menor o igual a la diferencia entre el Set Point, y la banda proporcional.

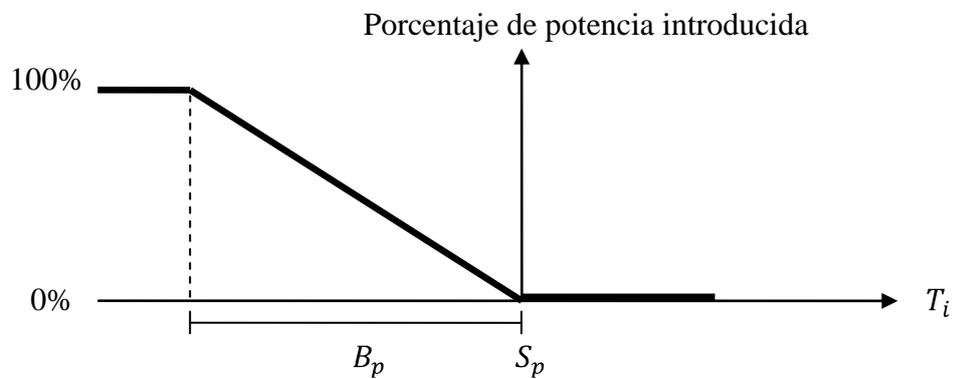


Figura 16. Acción de control proporcional.

Donde:

S_p : Temperatura de consigna (Set Point).

B_p : Banda proporcional.

T_i : Temperatura en un tiempo 'i'.

$\%P_i$: Porcentaje de potencia introducido.

La acción de control proporcional se rige por la siguiente ecuación:

$$\%P_i = \begin{cases} 100; & T_i < S_p - B_p \\ \frac{(S_p - T_i)}{B_p}; & S_p - B_p \leq T_i \leq S_p \\ 0; & S_p < T_i \end{cases} \quad (14)$$

3.4.4.3 Acción Proporcional Integral

La principal desventaja de la acción proporcional es que se estabiliza por debajo del Set Point, a este desfase se le llama Off Set. Con la finalidad de corregir el Off Set se agrega la acción integral. En la *Figura 17* se muestra como la temperatura se estabiliza por debajo del Set Point.

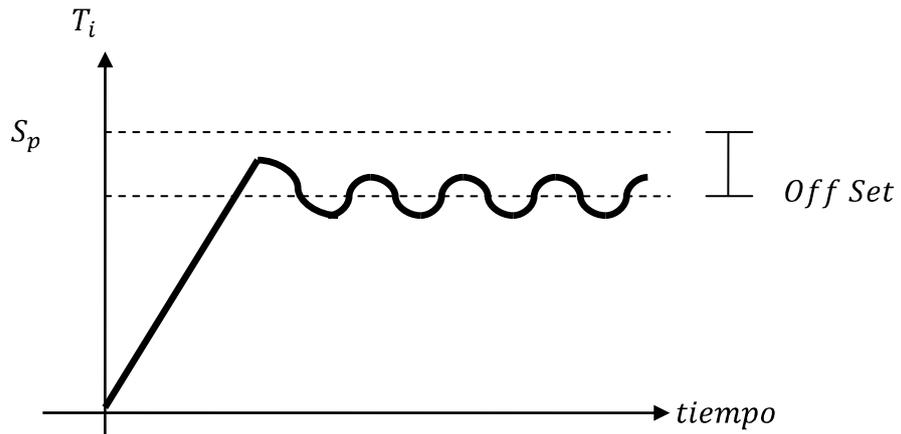


Figura 17. Acción de control proporcional con Off Set.

La acción integral corrige el Off Set. Ésta introduce en la acción proporcional la integral de la diferencia entre el Set Point y la temperatura medida, multiplicado por una constante. En la *Figura 18* se muestra como al aplicar la acción integral el Off Set se hace cero.

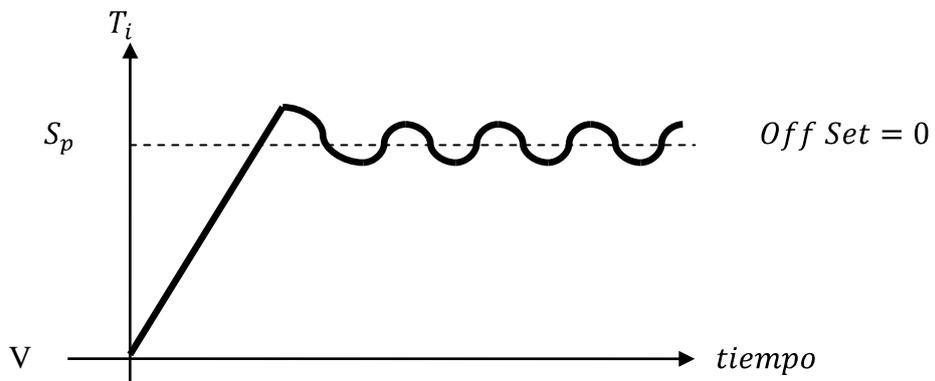


Figura 18. Acción de Proporcional Integral.

3.4.5 Control de la Potencia Introducida a la Incubadora

Para calentar el recinto se hace necesaria la introducción de calor. En este caso es por medio de un elemento eléctrico que es un hilo de resistencia de cocina. Se implementó la técnica de Modulación de Ancho de Pulso (M.A.P o P.W.M por sus siglas en inglés: Pulse Width Modulation) para manipular la cantidad de

potencia requerida (*Figura 19*). Esta técnica consiste en modificar el ciclo de trabajo de una señal periódica, es decir que la misma tiene una frecuencia fija y tiempos de encendido y apagado variables.

El ciclo de trabajo se define entonces como:

$$D = \frac{\tau}{T} \quad (15)$$

Donde τ el ancho de pulso (el tiempo donde la función es positiva o tiempo de encendido) y T es el período de la señal modulada.

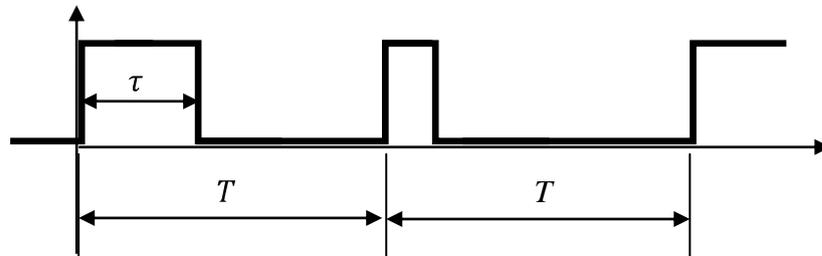


Figura 19. Ciclo de trabajo con el método de PWM

Para este caso la potencia introducida al sistema será igual al ciclo de trabajo:

$$\dot{w} = D \quad (16)$$

Es decir, esta potencia dependerá del ancho del pulso, y de mantener un tiempo de período de modulación constante. Por ejemplo si el ancho de pulso es la mitad ($\tau = 2$ seg) del período de la señal ($T = 4$ seg), entonces la potencia introducida será del 50%, que también puede representarse como:

$$\text{PWM} = (\tau, (T - \tau)) = (2, (4-2)) = (2, 2).$$

3.5 Modelado en Transferencia de Calor y Termodinámica

El modelo a considerar a continuación, es discreto y representativo del sistema real, es decir de la incubadora para el estudio de embriones de pollo. En el mismo se realizan varias suposiciones y se establecen condiciones con el fin de poder resolverlo, sin comprometer la fidelidad a los hechos reales.

3.5.1 Configuración Definitiva

Se tiene un cilindro hueco con tapas, dentro del cual se genera calor por medio de un elemento resistivo. El aire húmedo dentro, circula por la acción de un ventilador. El recinto no es completamente cerrado, debido a que tiene accesos que permiten el cambio de aire en el centro de las tapas (exfiltraciones). Además en el interior están la bandeja para la colocación de los huevos, el soporte para el ventilador y para el elemento generador de calor que en este caso es un hilo de resistencia de cocina (*Figura 20*).

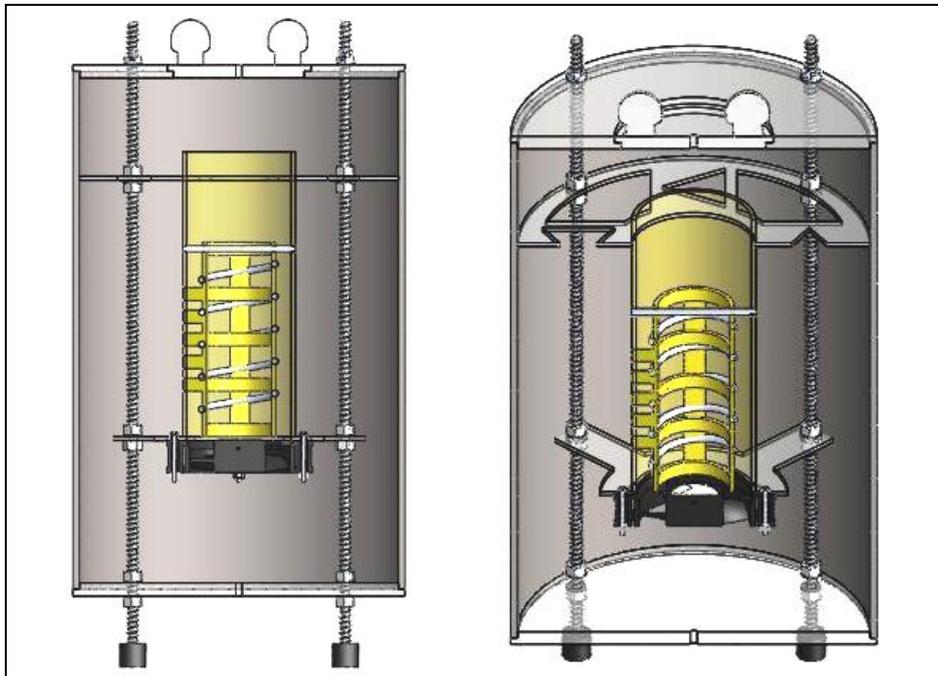


Figura 20. Imágenes del corte transversal de la incubadora.

3.5.2 Modelo Experimental: Consideraciones

La pared del cilindro así como ambas tapas se supone en un mismo material, debido a que sus propiedades mecánicas y térmicas son similares. Véase la tabla siguiente.

Tabla 6. Propiedades térmicas y mecánicas del PVC y acrílico (plexiglás) [32], [33].

| Propiedades Térmicas | | |
|---|-------------|---------------------------------|
| Propiedades | PVC | Acrílico (Plexiglás) |
| Calor específico (c_p) [$\frac{j}{kg \cdot K}$] | 1000 – 1500 | 1400 – 1500 |
| Conductividad Térmica [$\frac{w}{m \cdot K}$], @ 23°C | 0,12 – 0,25 | 0,17 – 0,19 |
| Temperatura máx. de Utilización [°C] | 50 – 75 | 50 – 90 |
| Propiedades Mecánicas | | |
| Propiedades | PVC | Acrílico (Plexiglás) |
| Densidad [$\frac{g}{cm^3}$] | 1,37 – 1,42 | 1,19 |

Se supone el aire y todo lo que se encuentra dentro de la incubadora como un solo cuerpo, menos el elemento resistivo o hilo de resistencia.

3.5.3 Representación del Modelo Teórico Planteado

Se representa el sistema y modelo con los siguientes gráficos (Figura 21):

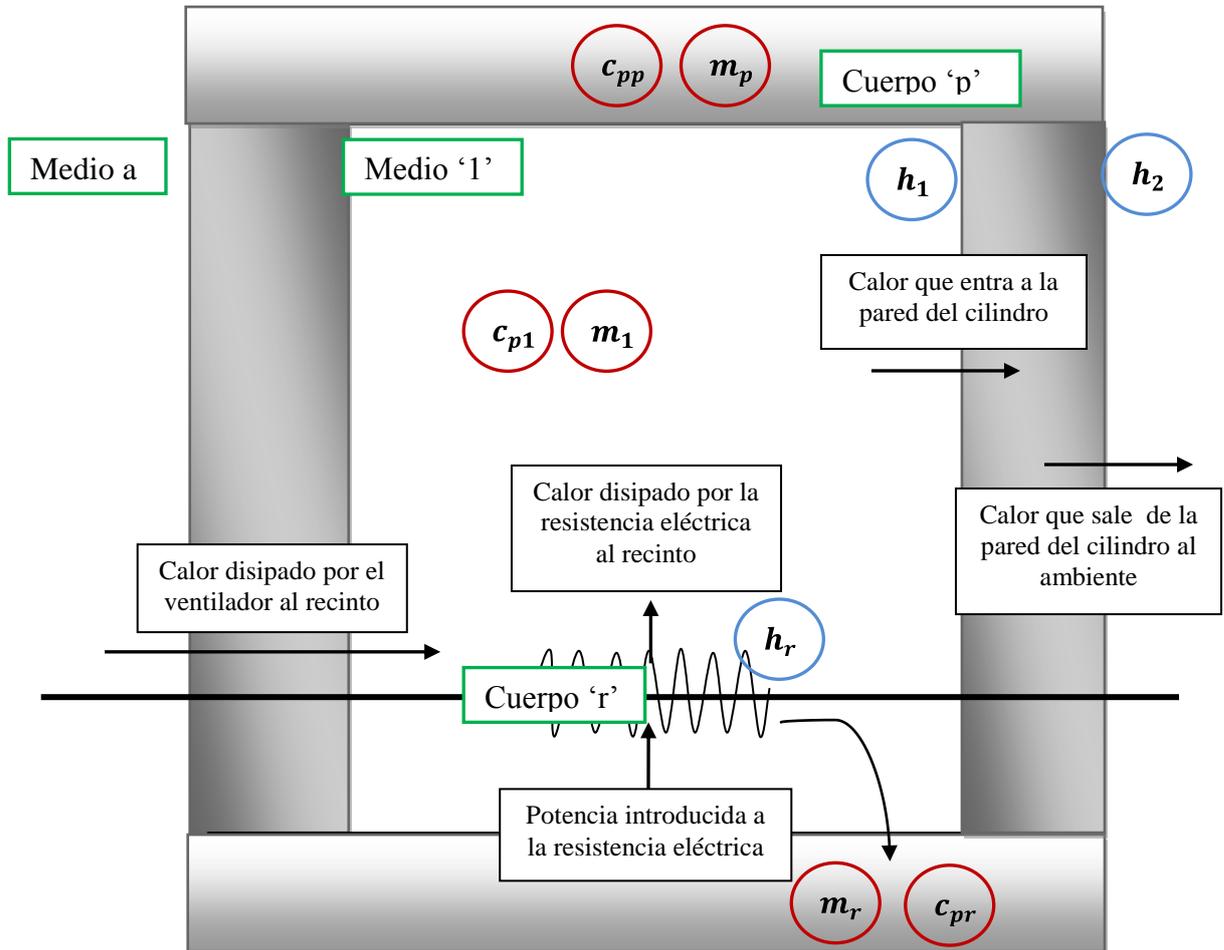


Figura 21. Representación gráfica del sistema corte transversal.

Donde:

Cuerpo 'r': Representa el elemento resistivo.

Medio '1': Representa todo lo que está dentro de la incubadora menos el elemento resistivo.

Cuerpo 'p': Representa la pared en el modelo que está conformada por la carcasa cilíndrica junto con la tapa superior y la tapa inferior.

Medio 'a': Representa el medio ambiente que rodea la incubadora.

3.5.4 Ecuaciones del Modelo Teórico: Consideraciones

Para efectos de este modelo no se considera el calor aportado por el ventilador al interior de la unidad. En un análisis cuasi-estático se supone constante debido a que durante el desarrollo embrionario, es decir el tiempo promedio que dura un ensayo, el mismo no varía considerablemente. Adicionalmente se observa en las curvas que se tomaron (véase el ANEXO 9) del calentamiento que genera el ventilador en el interior del recinto, que este no produce una variación de temperatura significativa en comparación con la variación causada por el elemento resistivo.

En las ecuaciones de calor que se plantean, no aparecen las ecuaciones que relacionan las tapas superior e inferior con la pared del cilindro, debido a que el área de contacto o transferencia de calor entre estos elementos no es apreciable, en comparación con el área de transferencia entre el cilindro y los medios '1' y 'a'.

El área de contacto sería la siguiente:

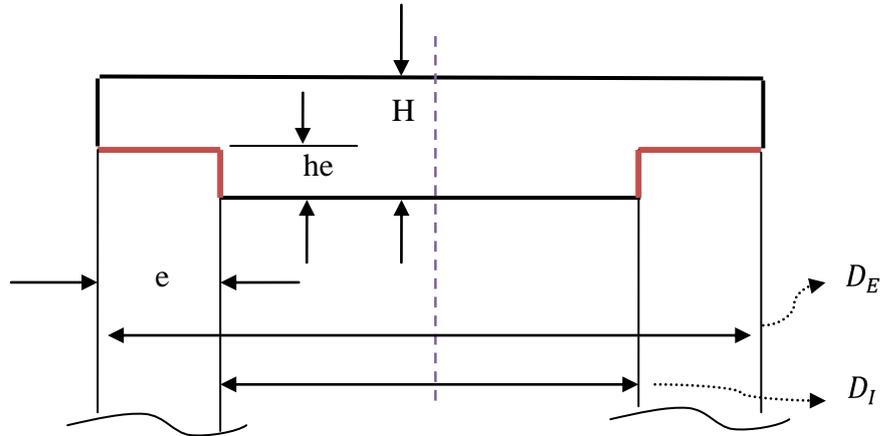


Figura 22. Corte transversal esquemático. Área de contacto en rojo.

En la *Figura 22* se tiene lo siguiente:

e : 5 mm Espesor de la pared de la carcasa con forma de cilindro.

he : 5 mm Altura de la tapa entre dos. ($H/2$)

D_I : 244 mm Diámetro interno carcasa con forma de cilindro. ($R_I * 2$)

D_E : 254 mm Diámetro externo carcasa con forma de cilindro. ($D_I + 2 * e$)

El cálculo del área de contacto (marcada en rojo) es entonces:

$$A_E - A_I = \frac{\pi(D_E)^2}{4} - \frac{\pi(D_I)^2}{4} \quad (17)$$

$$A_E - A_I = \frac{\pi(255\text{mm})^2}{4} - \frac{\pi(244\text{mm})^2}{4} = 3911,282 \text{ mm}^2$$

$$A_1 = h * \pi * D_I \quad (18)$$

$$A_1 = 5\text{mm} * \pi * 244\text{mm} = 3832,743 \text{ mm}^2$$

La suma de ambas áreas nos da la total de contacto. Esta debe ser multiplicada por 2, por tener ambas tapas (la tapa superior y la inferior) contacto con el cilindro:

$$A_{Total} = 2 * (3911,282 + 3832,743) = 15488,0517 \text{ mm}^2$$

Este resultado se compara con el área de transferencia de calor entre la carcasa con forma de cilindro y el Medio '1'. La altura de la carcasa es de 330mm.

$$A_{Interna} = 330\text{mm} * \pi * 244\text{mm} = 252961,0405 \text{ mm}^2 =$$

Y se compara con el área de transferencia de calor con el Medio 'a':

$$A_{Externa} = 330\text{mm} * \pi * 254\text{mm} = 263328,2962 \text{ mm}^2 =$$

Queda demostrado que el área de contacto entre las tapas y el cilindro de la carcasa no es apreciable comparándose con el área de contacto del cilindro y los Medios '1' y 'a'.

Otra consideración es que la temperatura dentro del Cuerpo 'p' (ambas tapas y la carcasa cilíndrica) y dentro del Cuerpo 'r' (elemento resistivo) es espacialmente uniforme en cualquier instante durante el proceso transitorio. Esta suposición implica que los gradientes de temperatura dentro del sólido son insignificantes. Para que esto tenga validez el número Biot debe satisfacer a siguiente condición:

$$Bi = \frac{h * L_c}{k} < 0,1 \quad (19)$$

Lo que se conoce como el método de la *Resistencia Interna Despreciable* e indica que el error asociado al método es pequeño.

Las constantes de conductividad de los materiales son sacadas de tablas, la longitud característica es calculada con los volúmenes y dimensiones de los elementos. Como el coeficiente de convección se desconoce no es posible desarrollar la ecuación anterior para satisfacer el criterio y así validar la consideración. Sin embargo un procedimiento apropiado es usar un método para calcular el coeficiente de convección y después determinar si este satisface el criterio.

Para el caso de evaluar el criterio entre el Cuerpo ‘p’ y el medio ambiente donde existe convección natural, se supuso un *coeficiente de convección máximo*, el cual permitiera cumplir con la ecuación de $Bi < 0,1$. Todos los valores menores a este valor máximo y mayores a cero que se le puedan dar al coeficiente, cumplirían con el criterio de la resistencia interna despreciable.

Se calcula entonces la longitud característica para el Cuerpo ‘p’:

$$L_{c(\text{Cuerpo } p)} = \frac{V_{\text{tapas}} + V_{\text{cilindro}}}{A_{\text{tapas}} + A_{\text{cilindro}}} \quad (20)$$

$$L_{c(\text{Cuerpo } p)} = \frac{1,0134 \times 10^{-3} \text{m}^3 + 1,2907 \times 10^{-3} \text{m}^3}{0,3646 \text{m}^2 + 0,5241 \text{m}^2} = 2,5926 \times 10^{-3} \text{m}$$

De la *Tabla 6* se escoge el coeficiente de conducción térmica. Por ser dos materiales para el Cuerpo ‘p’, se elige 0,18 como coeficiente tanto para el PVC como para el acrílico. Usando este valor y el número calculado anteriormente, se despeja el coeficiente de convección máximo que cumpla el criterio:

$$h_{2\text{max}} = \frac{0,1 * k_2}{L_{c(\text{Cuerpo } p)}} \quad (21)$$

$$h_{2\text{max}} = \frac{0,1 * 0,18 \frac{\text{W}}{\text{m} * \text{K}}}{2,5926 \times 10^{-3} \text{m}} = 6,9426 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

Donde:

k_2 : Constante de conductividad térmica del Cuerpo 'p'.

h_{2max} : Coeficiente de convección de transferencia de calor entre el Cuerpo 'p' y el medio ambiente.

$L_{c(Cuerpo\ p)}$: Longitud característica del Cuerpo 'p'.

Lo que nos indica que los h supuestos y comprendidos entre cero y este valor, validarán el criterio. El valor que se escogió fue arrojado por la simulación (sección 4.2.1 *Resultados de la Simulación*).

Igualmente para evaluar el criterio entre el Cuerpo 'r' y el Medio '1', donde existe convección forzada, se realiza el mismo procedimiento.

Se calcula la longitud característica para el Cuerpo 'r':

$$L_{c(Cuerpo\ r)} = \frac{V_{resistencia}}{A_{resistencia}} \quad (22)$$

$$L_{c(Cuerpo\ r)} = \frac{5 \times 10^{-6} m^3}{0,0151 m^2} = 3,3112 \times 10^{-4} m$$

De la *Tabla 1* se escoge el coeficiente de conducción térmica para el elemento resistivo. Usando este valor y el número calculado anteriormente, se despeja el coeficiente de convección máximo que cumpla el criterio:

$$h_{rmax} = \frac{0,1 * k_r}{L_{c(Cuerpo\ r)}} \quad (23)$$

$$h_{rmax} = \frac{0,1 * 11,2 \frac{W}{m * ^\circ C}}{3,3112 \times 10^{-4} m} = 3382,401 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Donde:

k_r : Constante de conductividad térmica del Cuerpo 'r' y el Medio '1'.

h_{rmax} : Coeficiente de convección de transferencia de calor entre el Cuerpo 'p' y el medio ambiente.

$L_{c(Cuerporr)}$: Longitud característica del Cuerpo 'p'.

Lo que nos indica que los h supuestos y comprendidos entre cero y este valor, validarán el criterio. El valor que se escogió fue arrojado por la simulación (sección 4.2.1 *Resultados de la Simulación*).

Ahora bien luego que se hicieron las respectivas consideraciones para el modelo, se plantean las siguientes ecuaciones en donde (*Figura 21*):

P_e : Potencia introducida a la resistencia eléctrica.

\dot{Q}_{r1} : Calor disipado por la resistencia eléctrica al interior del recinto.

\dot{Q}_{v1} : Calor disipado por el ventilador al interior del recinto.

\dot{Q}_{1p} : Calor que se transfiere desde '1' hacia 'p'.

\dot{Q}_{pa} : Calor que se transfiere desde 'p' hacia 'a'.

T_p : Temperatura de 'p'.

T_a : Temperatura ambiente.

T_1 : Temperatura de '1'.

T_r : Temperatura interna de la resistencia.

C_{p1} : Calor específico del Medio '1' (interior de la unidad).

C_{pr} : Calor específico del Cuerpo 'r' (elemento resistivo).

C_{pp} : Calor específico del Cuerpo 'p' (Paredes incluyendo ambas tapas).

m_1 : Masa del Medio '1'.

m_r : Masa del Cuerpo 'r'.

m_p : Masa del Cuerpo 'p'.

Se realiza un balance de energía como sigue:

$$P_e - \dot{Q}_{r1} = m_r * C_{pr} * \dot{T}_r \quad (24)$$

$$\dot{Q}_{v1} + \dot{Q}_{r1} - \dot{Q}_{1p} = m_1 * C_{p1} * \dot{T}_1 \quad (\text{donde } \dot{Q}_{v1} \cong 0) \quad (25)$$

$$\dot{Q}_{1p} - \dot{Q}_{pa} = m_p * C_{pp} * \dot{T}_p \quad (26)$$

Las ecuaciones anteriores representan los balances de energía respectivamente en el Cuerpo 'r' (24), Medio '1' (25) y Cuerpo 'p' (26).

Para los calores se tiene:

$$\dot{Q}_{r1} = k_{r1} * (T_r - T_1) \quad (27)$$

$$\dot{Q}_{1p} = k_{1p} * (T_1 - T_p) \quad (28)$$

$$\dot{Q}_{pa} = k_{pa} * (T_p - T_a) \quad (29)$$

Adicionalmente a potencia eléctrica es:

$$P_e = I^2 * R = V * I = V^2/R \quad (30)$$

Sustituyendo (30) en la ecuación (24) y despejando \dot{T}_r se tiene:

$$P_e - k_{r1} * (T_r - T_1) = m_r * C_{pr} * \dot{T}_r$$

$$\dot{T}_r = -\frac{k_{r1}}{m_r * C_{pr}} * T_r + \frac{k_{r1}}{m_r * C_{pr}} * T_1 + \frac{P_e}{m_r * C_{pr}}$$

Ecuación (31)

Sustituyendo (27) y (28) en la ecuación (25) y despejando \dot{T}_1 y reorganizando se tiene:

$$k_{r1} * (T_r - T_1) - k_{1p} * (T_1 - T_p) = m_1 * C_{p1} * \dot{T}_1$$

$$k_{r1} * T_r - k_{r1} * T_1 - k_{1p} * T_1 + k_{1p} * T_p = m_1 * C_{p1} * \dot{T}_1$$

$$\dot{T}_1 = \frac{k_{r1}}{m_1 * C_{p1}} * T_r - \frac{(k_{r1} + k_{1p})}{m_1 * C_{p1}} * T_1 + \frac{k_{1p}}{m_1 * C_{p1}} * T_p$$

Ecuación (32)

Sustituyendo (28) y (29) en la ecuación (26) y despejando \dot{T}_p se tiene:

$$k_{1p} * (T_1 - T_p) - k_{pa} * (T_p - T_a) = m_p * C_{pp} * \dot{T}_p$$

$$\dot{T}_p = \frac{k_{1p}}{m_p * C_{pp}} * T_1 - \frac{(k_{1p} + k_{pa})}{m_p * C_{pp}} * T_p + \frac{k_{pa}}{m_p * C_{pp}} * T_a$$

Ecuación (33)

Las ecuaciones (31), (32) y (33) se reagrupan y se colocan en forma matricial, como se muestra a continuación:

$$\begin{bmatrix} \dot{T}_r \\ \dot{T}_1 \\ \dot{T}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{k_{r1}}{m_r * C_{pr}} & \frac{k_{r1}}{m_r * C_{pr}} & 0 \\ \frac{k_{r1}}{m_1 * C_{p1}} & -\frac{(k_{r1} + k_{1p})}{m_1 * C_{p1}} & \frac{k_{1p}}{m_1 * C_{p1}} \\ 0 & \frac{k_{1p}}{m_p * C_{pp}} & -\frac{(k_{1p} + k_{pa})}{m_p * C_{pp}} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} T_r \\ T_1 \\ T_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{P_e}{m_r * C_{pr}} \\ 0 \\ \frac{k_{pa}}{m_p * C_{pp}} * T_a \end{bmatrix}$$

Ecuación (34)

Obteniendo así la *Matriz de Estado* de nuestro sistema modelado, donde las definiciones de, k_{r1} , k_{1p} , k_{pa} , se realizan en la sección 5.6 *Cálculo de los Calores en el Sistema*.

CAPÍTULO IV

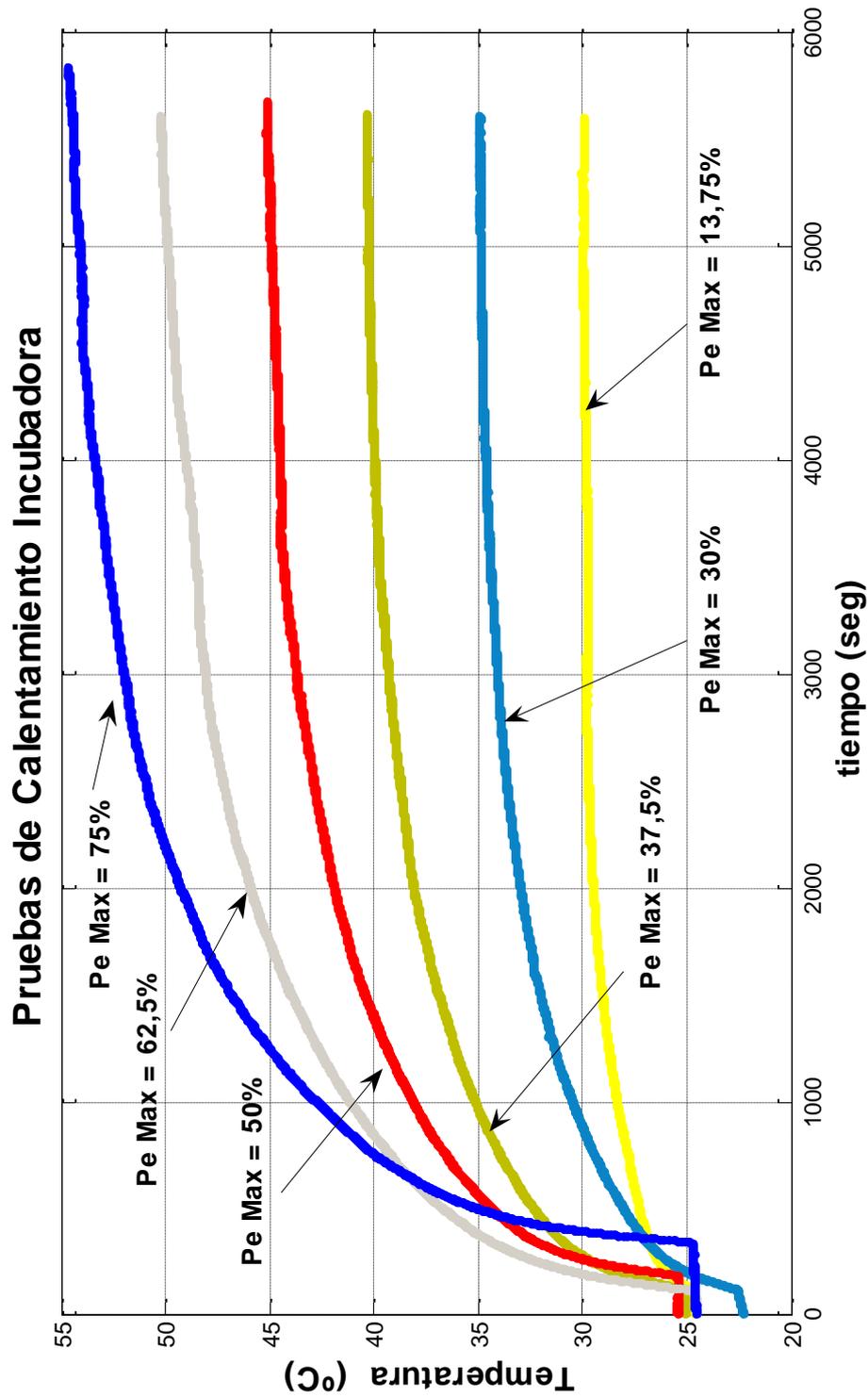
PRUEBAS Y EXPERIMENTACION

Con el fin de comprobar la idoneidad del modelo se ejecutaron en la incubadora, pruebas de calentamiento a diferentes porcentajes de potencia introducida. La variación del porcentaje de encendido y apagado de la resistencia se realizó por modulación del ancho de pulso (sección 3.4.5 *Control de la Potencia Introducida a la Incubadora*) enviado por el micro controlador con un ciclo de trabajo de ocho segundos. Se utilizó el mismo programa empleado por el laboratorio para el análisis de sus pruebas, para la adquisición de la temperatura del sistema.

4.1 Curvas Experimentales Medidas

Se recolectaron diferentes curvas de calentamiento de la incubadora para diferentes valores de potencia, obtenidas en experimentos a temperatura ambiente. A los 300 segundos aproximados, el calentamiento se comenzó con el encendido del elemento resistivo. El promedio de duración total de cada experimento fue de 6000 segundos aproximadamente. La potencia introducida para un porcentaje del cien (100%) corresponde a 65,51, vatios (véase *Ecuación 30*), para un valor de voltaje de 32 Vdc, y un valor de resistencia de $15,63\Omega$ (véase *Gráfica 3*).

Las gráficas están ordenadas por valores de potencia máxima ($P_e \text{ Max}$) ascendentes. Cada una fue realizada con un ciclo de trabajo (D) constante para un período $T = 8 \text{ seg}$. Estas gráficas se muestran a continuación:



Gráfica 6. Curva de calentamiento experimental en la incubadora. Para los diferentes valores de potencia máxima.

4.2 Simulación: Ajuste de Constantes

Cuando ya se tuvo planteado un modelo analítico que representara el comportamiento del sistema sin comprometer la fidelidad a la realidad, se realizó la simulación del modelo matemático con el fin de verificar si este es capaz de predecir el comportamiento de la incubadora construida. Para ello se elaboró un algoritmo de programación (véase el ANEXO 6) con la *Matriz de Estado* de nuestro modelo (véase *Ecuación 34*) y todos los parámetros considerados, con el fin de hacer los ajustes hasta reproducir el comportamiento de las curvas de calentamiento realizadas a diferente porcentaje de potencia introducida.

A continuación se enuncian los parámetros separados en categorías:

1. Parámetros obtenidos y calculados con base en mediciones realizadas. No son afectados por las variaciones del sistema.

P_e : Potencia introducida (w).

T_a : Temperatura ambiente (°C).

A_r : Área de la resistencia (m^2).

A_{1p} : Área interna del recinto, tapas y cilindro (m^2).

A_{pa} : Área externa del recinto (m^2).

m_r : Masa de la resistencia (kg).

m_2 : Masa del cilindro y tapas (kg).

m_1 : Masa del interior del recinto (kg).

2. Parámetros obtenidos de la literatura (*Tabla 1, Tabla 6*).

c_{pr} : Calor específico del elemento resistivo (nicromo) ($\frac{J}{kg \cdot K}$).

c_{p2} : Calor específico de cilindro de PVC y las tapas de acrílico ($\frac{J}{kg \cdot K}$).

3. Parámetros establecidos de forma iterativa con la simulación, mediante la minimización del error cuadrático medio entre los datos medidos y simulados.

h_r : Coeficiente de convección entre resistencia y el interior del recinto.

h_2 : Coeficiente de convección entre las tapas, cilindro y ambiente.

c_{p1} : Calor específico del interior del recinto.

h_1 : Coeficiente de convección entre el interior del recinto, tapas y cilindro

Ya finalizada la simulación se determinaron los parámetros que ajustan el modelo. Para verificar la fidelidad del mismo con la realidad, se utiliza la definición del error cuadrático medio (E_{rms}) [39]:

$$E_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_{simulado} - T_{medido})^2} \quad (35)$$

Donde:

T_{medido} : Valor real.

$T_{simulado}$: Valor proyectado o simulado.

n : Tamaño de la muestra o valores analizados

La ecuación anterior consiste en la suma de las diferencias al cuadrado entre lo real y lo predicho por el modelo.

4.2.1 Resultados de la Simulación

Los valores arrojados por el procedimiento de mínimos cuadrados, para los parámetros con los que se definió el modelo, fueron los siguientes:

- Los de la *Primera Categoría*:

$$A_r = 0,0151 \text{ m}^2 \quad A_{1p} = 0,3464 \text{ m}^2 \quad A_{pa} = 0,3726 \text{ m}^2$$

$$m_r = 300\text{g} \quad m_2 = 3000\text{g} \quad m_1 = 500\text{g}$$

- Los de la *Segunda Categoría*:

$$c_{pr} = 0,4 \frac{\text{j}}{\text{g} * \text{K}} \quad c_{p2} = 1 \frac{\text{j}}{\text{g} * \text{K}}$$

- Los de *Tercera Categoría*:

$$c_{p1} = 0,7 \frac{\text{j}}{\text{g} * \text{K}} \quad h_r = 1500 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 * \text{K}} \quad h_1 = 11,5 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

$$h_2 = 7,3 \frac{\text{w}}{\text{m}^2 * \text{K}}$$

Los siguientes coeficientes de convección arrojados por la simulación, los asumiremos como coeficientes de transferencia de calor promedios. h_1 , h_2 , serán entonces: \bar{h}_1 , \bar{h}_2 .

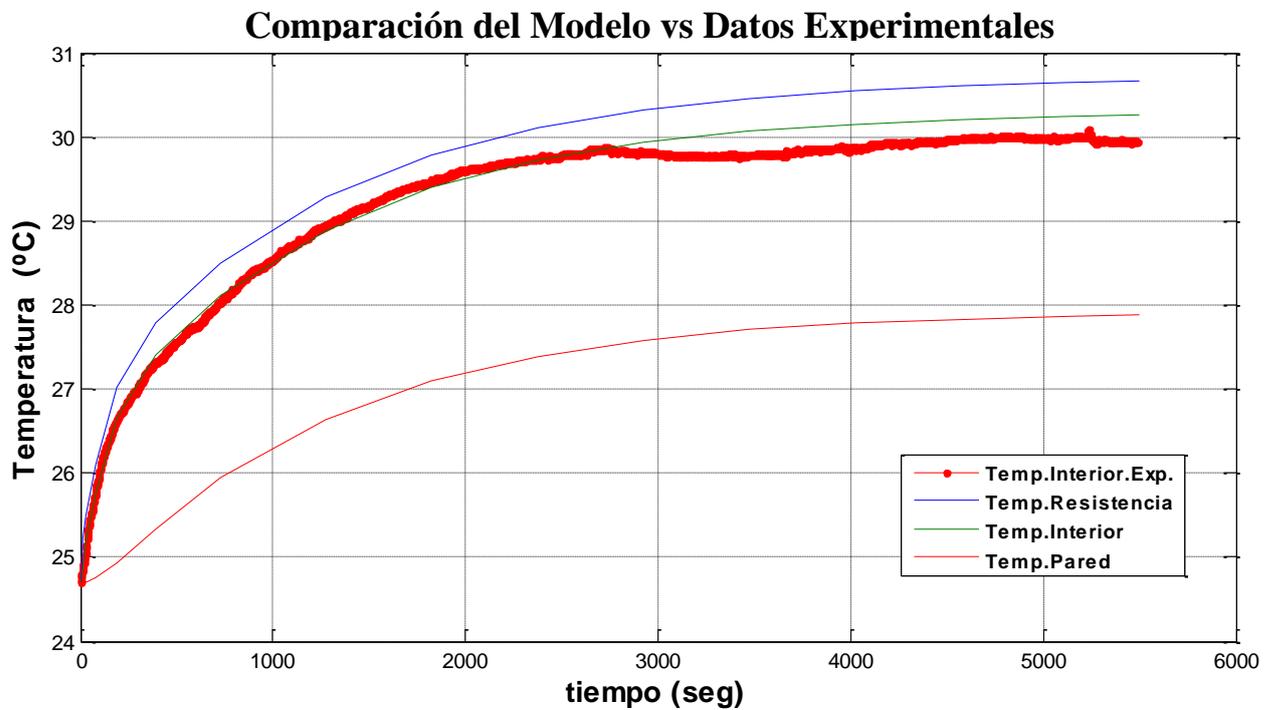
Se realizó la iteración de minimización hasta obtener un error medio inferior a $0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\pm 0,2954 \text{ }^\circ\text{C}$). Es decir con el modelo matemático planteado, se pueden hacer predicciones de temperatura en el tiempo a diferentes valores de potencia para analizar el comportamiento térmico de la incubadora. El modelo es representativo de las condiciones reales con un margen de error aceptable.

4.2.2 Comparación Entre las Curvas de la Simulación y las Experimentales

En las gráficas 7 a la 12 se presentan las curvas resultado de la simulación, comparadas con las curvas experimentales de calentamiento de la unidad, para sus valores respectivos de potencia y su error cuadrático medio correspondiente.

La leyenda para todas las gráficas y se detalla a continuación:

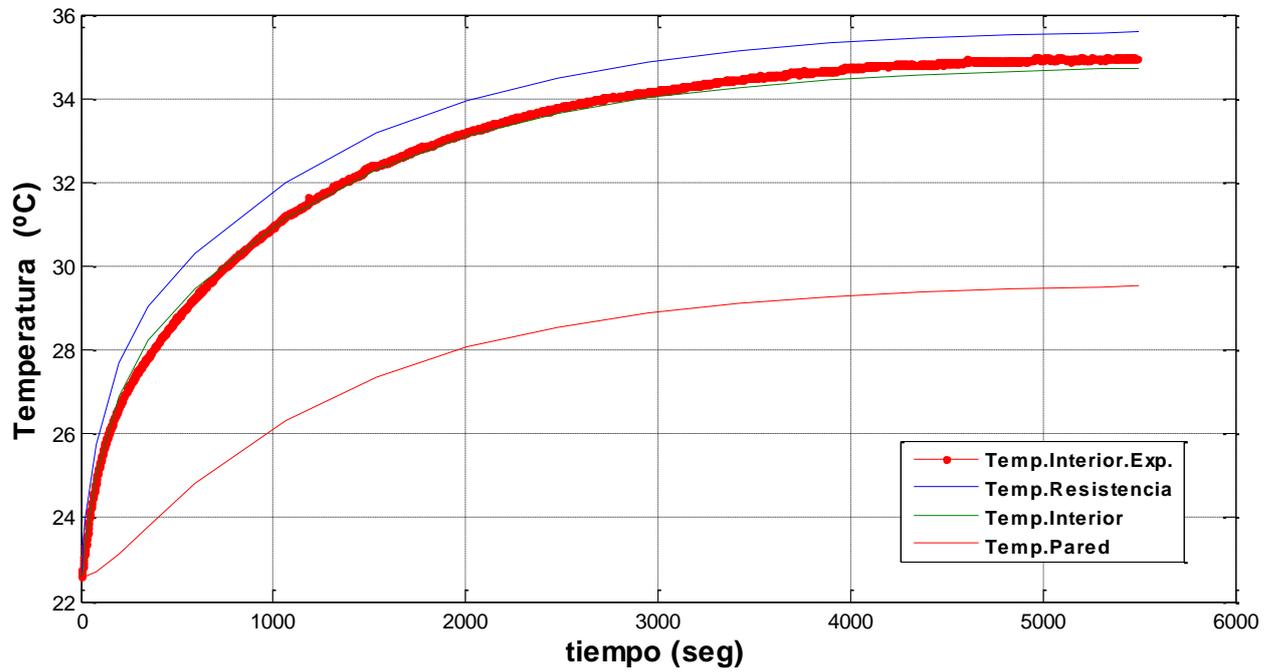
- Temperatura. Interior. Experimental: Curva de temperatura dentro de la incubadora experimental (°C).
- Temperatura. Resistencia: Curva de temperatura del elemento resistivo (°C).
- Temperatura. Interior: Curva de temperatura dentro de la incubadora arrojada por la simulación (°C).
- Temperatura. Pared: Curva de temperatura de la pared (cilindro y ambas tapas) arrojada por la simulación (°C).



Gráfica 7. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental.

Potencia máxima 13,75%. Temperatura ambiente: 24,70 °C. $E_{rms} = \pm 0,146^{\circ}\text{C}$.

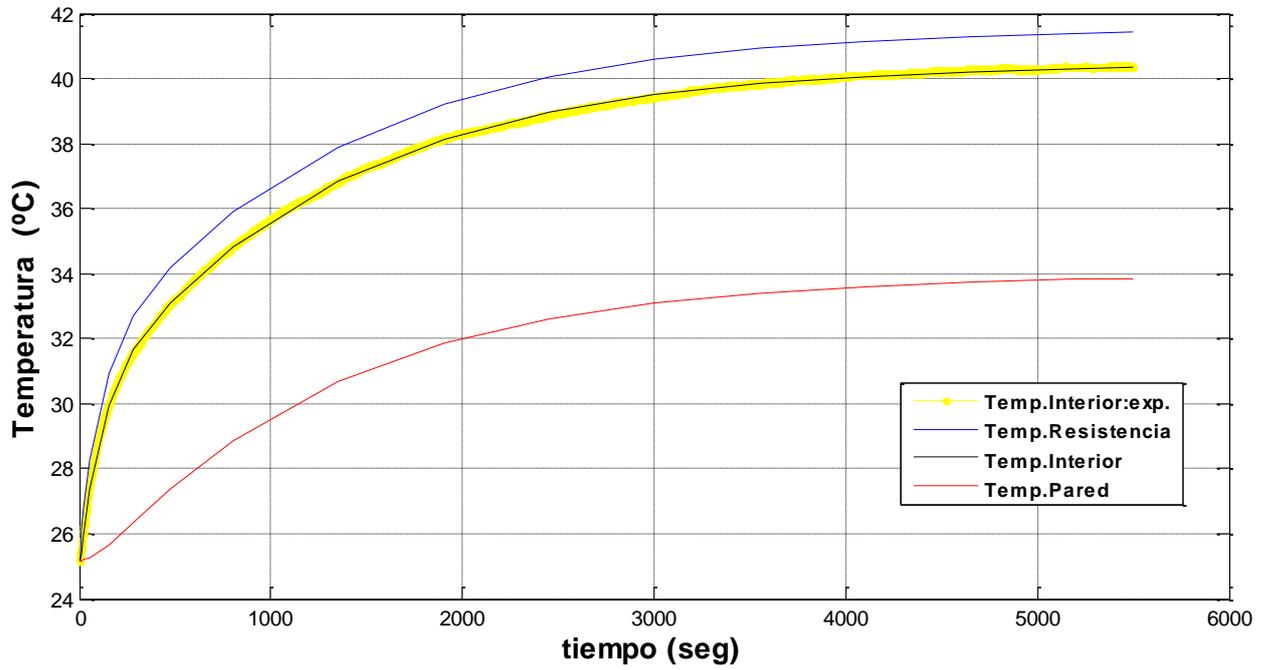
Comparación del Modelo vs Datos Experimentales



Gráfica 8. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental.

Potencia máxima 30%. Temperatura ambiente: 22,59 °C. $E_{rms} = \pm 0,249^{\circ}\text{C}$.

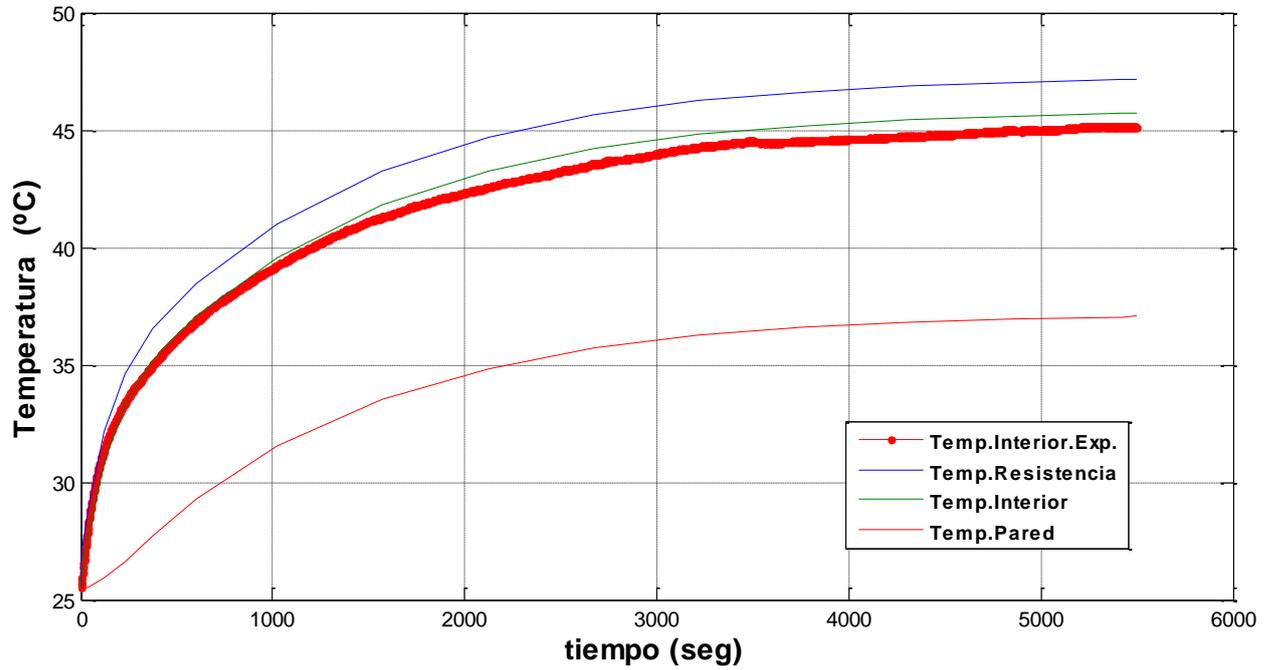
Comparación del Modelo vs Datos Experimentales



Gráfica 9. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental.

Potencia máxima 37,5%. Temperatura ambiente: 25,18 °C. $E_{rms} = \pm 0,166^{\circ}\text{C}$.

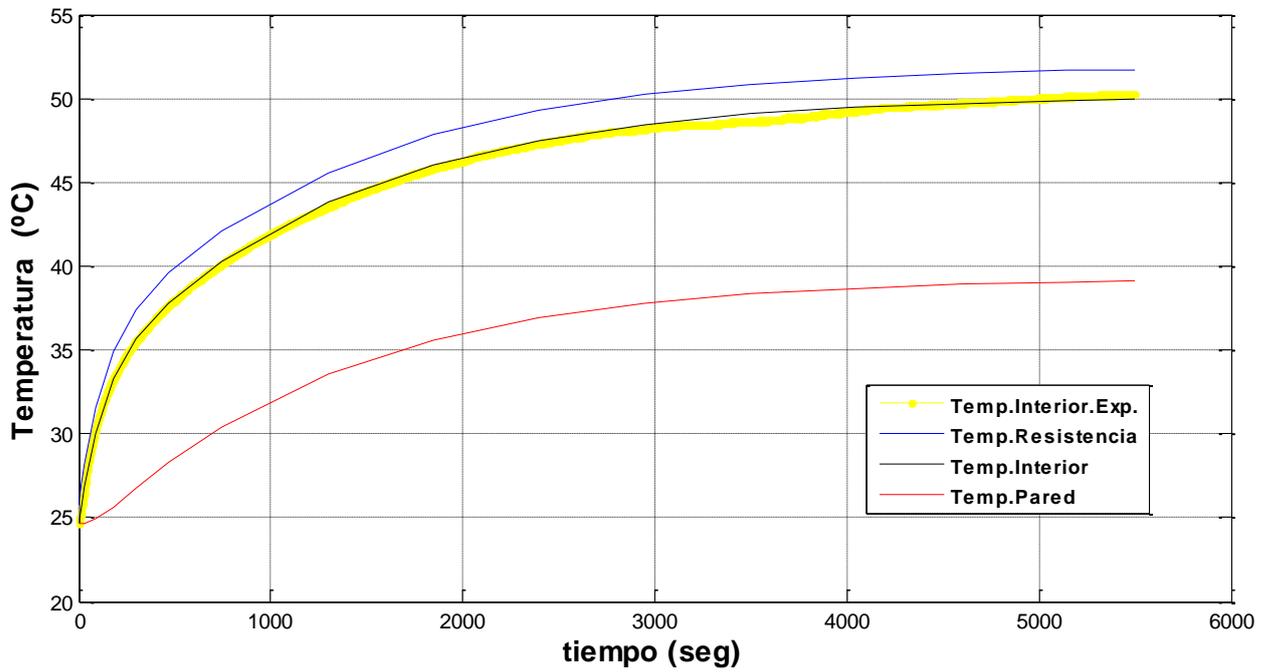
Comparación del Modelo vs Datos Experimentales



Gráfica 10. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental.

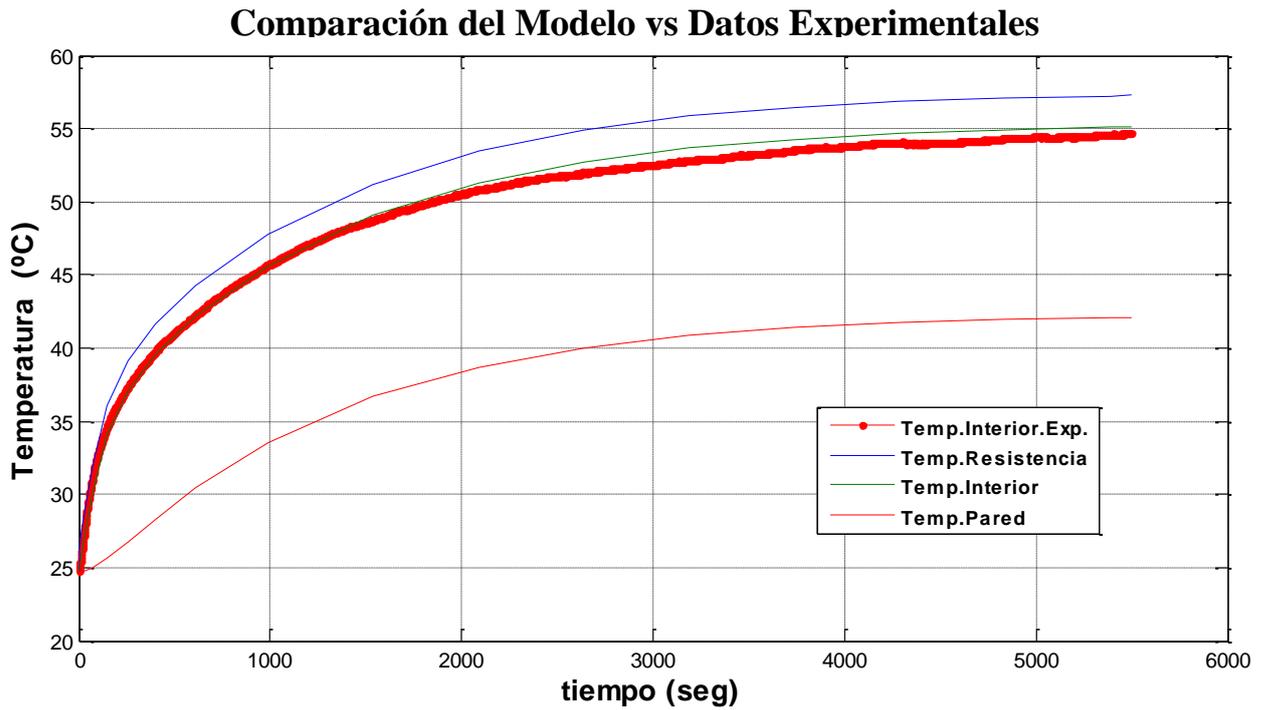
Potencia máxima 50%. Temperatura ambiente: 25,5 °C. $E_{rms} = \pm 0,367^{\circ}\text{C}$.

Comparación del Modelo vs Datos Experimentales



Gráfica 11. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental.

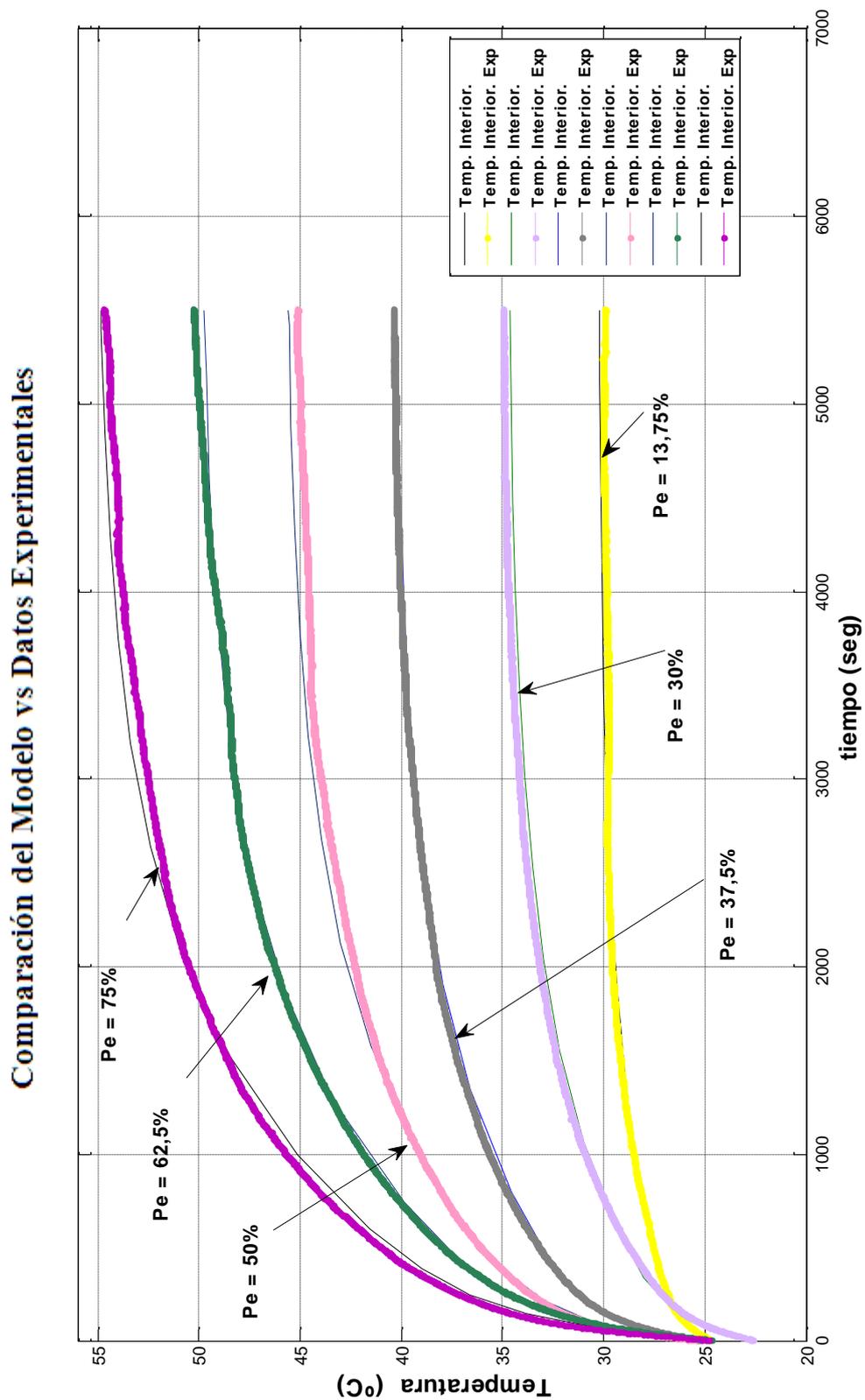
Potencia máxima 62,5%. Temperatura ambiente: 24,65 °C. $E_{rms} = \pm 0,229^{\circ}\text{C}$.



Gráfica 12. Comparación entre las curvas del modelo y la experimental.

Potencia máxima 75%. Temperatura ambiente a: 24,77 °C. $E_{rms} = \pm 0,476^{\circ}\text{C}$.

En la *Figura 13* se muestran las seis curvas experimentales con su respectivo ajuste realizado por el modelo solo en el interior del recinto y el error cuadrático medio general.



Gráfica 13. Comparación entre las curvas del modelo y las experimentales de la Temperatura en el interior de la incubadora Todas las Potencias.

$$E_{rms} = \pm 0,3^{\circ}\text{C}.$$

4.3 Experimento con el Sistema de Control Funcionando

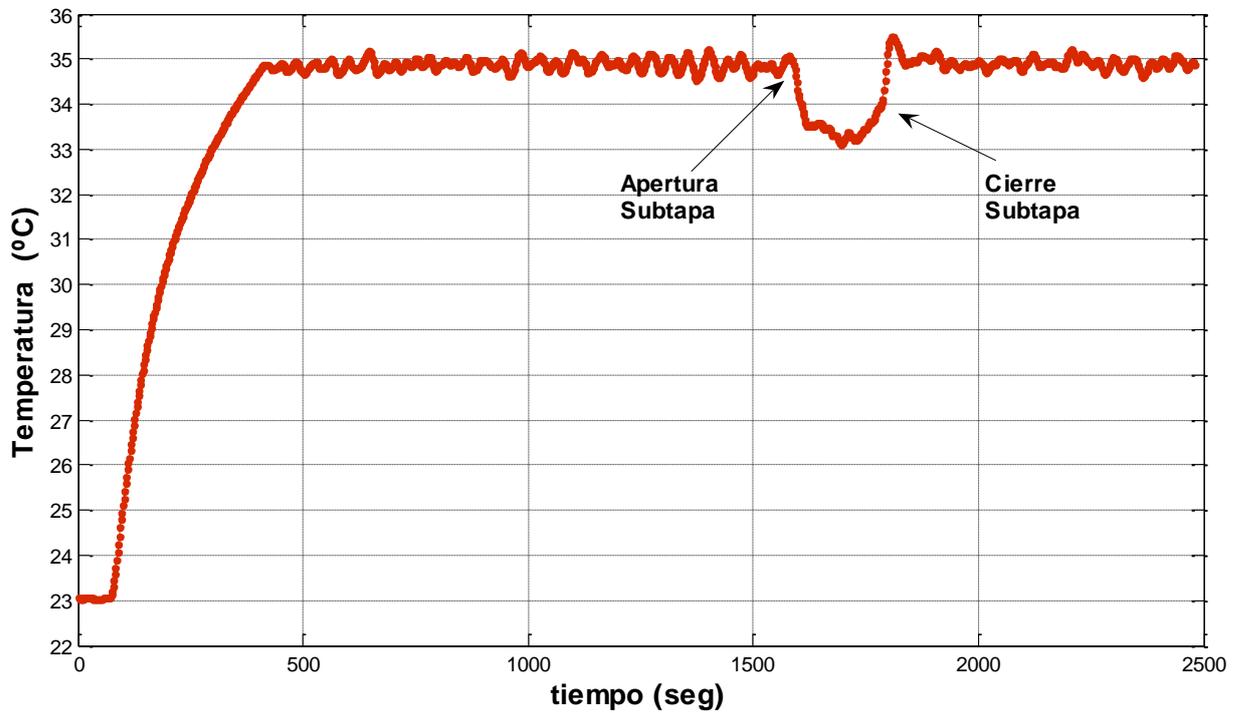
La estrategia de control a evaluar fue programada en el lenguaje del compilador, el código usado en cada una de las acciones de control se encuentra en el (véase el ANEXO 13).

Para probar la adaptabilidad de las estrategias de control y decidir cual utilizar para controlar la temperatura se realizaron diferentes ensayos, que se muestran a continuación.

4.3.1 Experimento Acción de Control Encendido-Apagado (On-Off)

En la *Gráfica 14* el ensayo se realizo bajo las siguientes condiciones: una temperatura ambiente inicial de 23 °C. Con un porcentaje de potencia máxima del cien por ciento (100%), y con apertura y cierre de la subtapa para un tiempo de 1588 segundos y un tiempo de 1782 segundos respectivamente. La temperatura de consigna se fijó en 35 °C.

Curva Experimental Acción de Control Encendido-Apagado.



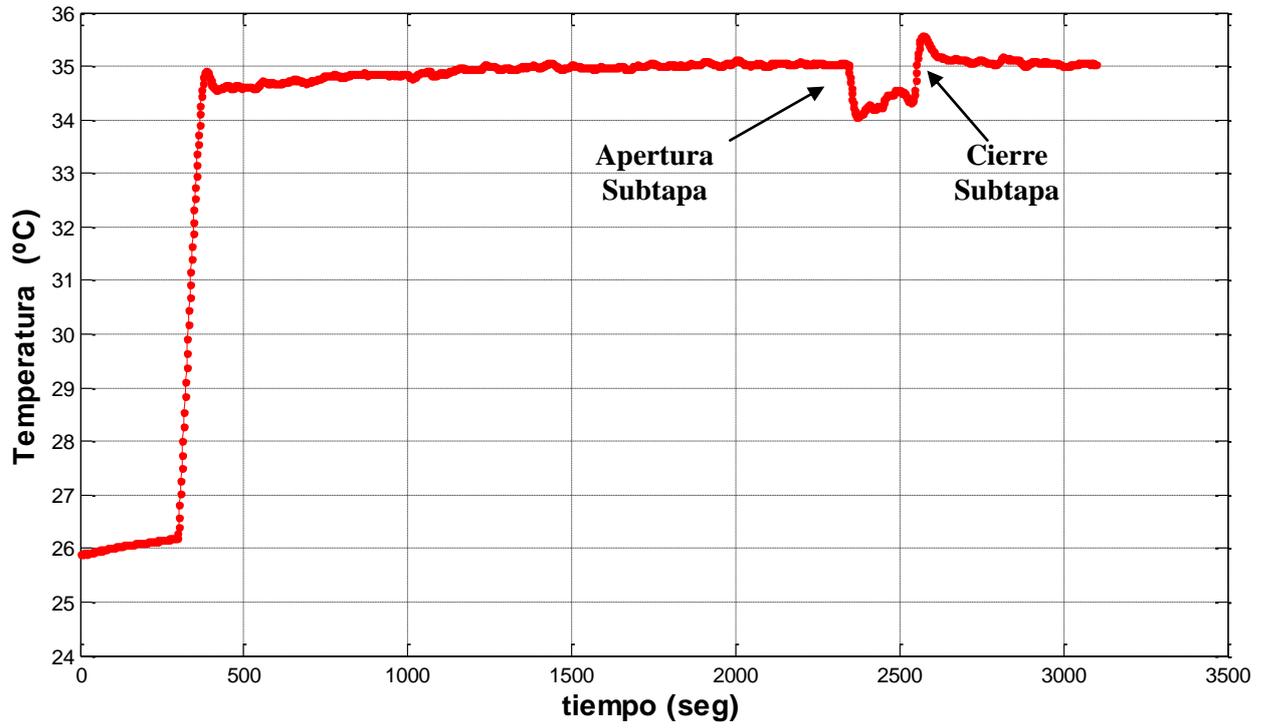
Gráfica 14. Curva Experimental acción de control Encendido-Apagado.

Potencia máxima de entrada 100%.

4.3.2 Experimento Acción de Control Proporcional

En el caso de la *Grafica 15* para la prueba con la acción de control proporcional se aplicó un porcentaje de potencia máxima de cien por ciento, con una temperatura ambiente inicial de 26°C y un valor de temperatura de consigna de 36°C. Adicionalmente en un tiempo igual a 2350 segundos se abrió la subtapa para luego ser cerrada 200 segundos después.

Curva Experimental Acción de Control Proporcional.

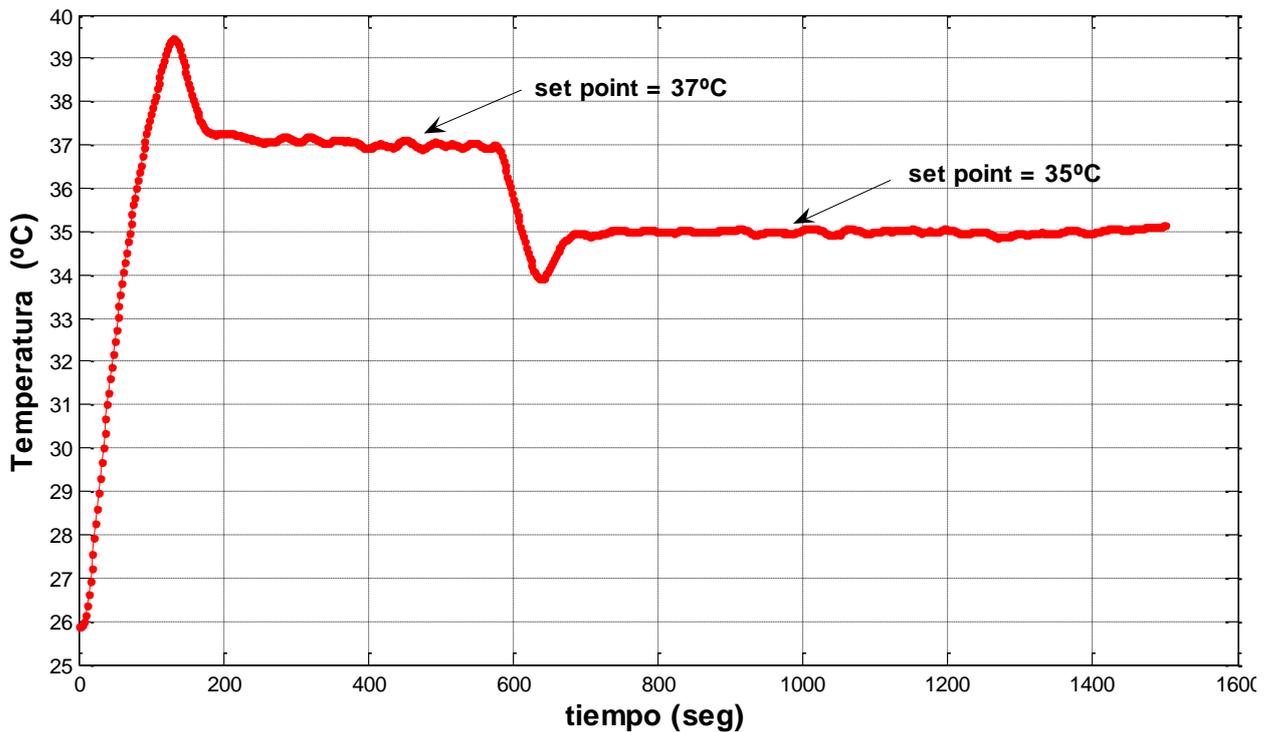


Gráfica 15. Curva Experimental acción de control proporcional. Potencia máxima de entrada 100%.

4.3.3 Experimento Acción de Control Proporcional-Integral

En la *Grafica 16* se evaluó la acción proporcional integral, con un porcentaje de potencia máxima de cien por ciento (100%), una temperatura inicial de 25,8°C y la temperatura de consigna es variada de 37°C a 35°C para un tiempo de 600 segundos.

Curva Experimental Acción de Control Proporcional_Integral.



Gráfica 16. Curva Experimental acción de control proporcional-integral.

Potencia máxima de entrada 100%.

4.4 Experimento con el Ventilador Interno. Tipo de Flujo Interno

Descripción: Se realizó un procedimiento de medición de velocidad del flujo de aire que genera el ventilador interno de la unidad, por medio de un equipo especializado. Este ensayo se realizó en el laboratorio del Instituto Anatómico José Izquierdo.

Objetivo del ensayo: Determinar si el flujo dentro de la unidad es turbulento o laminar y si es o no, un flujo desarrollado.

Características del ventilador: Ventilador Intel
A06776- 002/040125P109x9612T55046. De 12Vdc / 0,25^a.

Tabla 7. Características del ventilador interno.

| Velocidad de giro [rpm] | Diámetro[cm] |
|-------------------------|--------------|
| 7800 | 6 |

El ventilador utilizado para la realización del ensayo es de menor proporción al que tiene instalado la incubadora. A pesar de esto se asume el experimento como representativo y demostrativo de las condiciones de flujo dentro del cilindro central de la unidad, debido a que el flujo dentro se desarrolla en circunstancias similares a las de la prueba realizada.

Equipos utilizados:

Para realizar los procedimientos se empleó el siguiente equipo:

- Tri-sense/Model 637-0090. Barnant Company. Barrington Illinois 60010.

Desarrollo y procedimiento:

El experimento se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- Se le acopló el ventilador a un ducto que tiene el mismo diámetro interno de su rodete (6cm), con una longitud de 8 cm de largo. Esta longitud se escogió así debido a que el cilindro central de la unidad al cual está acoplado el ventilador es de longitud de 16 cm.
- Luego con el Tri-sence se procedió a medir la velocidad del flujo en la salida del ducto cada un centímetro de distancia.

Tabla 8. Mediciones de la velocidad del flujo de aire.

| Distancia [m] | Velocidad de Flujo (mps) | | | Caudal (m ³ /seg) | (cfm) |
|------------------|--------------------------|-------|------------|---------------------------------|---------|
| | [min] | [max] | [promedio] | [promedio] | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,01 | 3,9 | 4,1 | 4 | 0,0113 | 23,9639 |
| 0,02 | 2,25 | 2,4 | 2,325 | 0,0065 | 13,9291 |
| 0,03 | 1,39 | 1,49 | 1,44 | 0,0040 | 8,6270 |
| 0,04 | 2,8 | 3,1 | 2,95 | 0,0083 | 17,6734 |
| 0,05 | 3,8 | 3,9 | 3,85 | 0,0108 | 23,0653 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Promedio Total | | 2,913 | 0,0082 | 17,4517 |

Análisis de los resultados:

- Con los datos obtenidos se realiza una gráfica del perfil de velocidad que produce el flujo del ventilador (véase el ANEXO 11).
- Se procede a calcular el número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_m * D}{\vartheta} \quad (36)$$

Donde:

V_m : Velocidad medida del fluido, sobre la sección transversal del tubo ($\frac{m}{seg}$).

D : Diámetro interno del tubo (m).

ϑ : Viscosidad cinemática ($\frac{m^2}{seg}$).

La velocidad promedio está en la *Tabla 7*, calculada: $V_m = 2,913mps$. A la temperatura de $37,5^\circ C$ (310,65 K), se buscan en la literatura la viscosidad cinemática para el aire: $\vartheta = 16,9613 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}$. Se tiene lo siguiente:

$$R_e = \frac{2,913 \frac{m}{seg} * 0,244m}{16,9613 \times 10^{-6} \frac{m^2}{seg}} = 4,1905 \times 10^4$$

Este valor es mayor que el Reynolds crítico ($R_e = 2300$) que corresponde al inicio de turbulencia [6], por lo que el flujo dentro de la unidad es turbulento. Para verificar si es o no desarrollado se calcula el rango de la longitud fluido dinámica para flujo turbulento. Por lo tanto:

$$10 * D \leq l_{f_{tur}} \leq 60 * D \quad (37)$$

Máxima:

$$l_{f_{tur}} \leq 60 * 6cm \Rightarrow l_{f_{tur}} \leq 360cm$$

Mínima:

$$l_{f_{tur}} \geq 10 * 6cm \Rightarrow l_{f_{tur}} \geq 60cm$$

Quedando entonces:

$$60cm \leq l_{f_{tur}} \leq 360cm$$

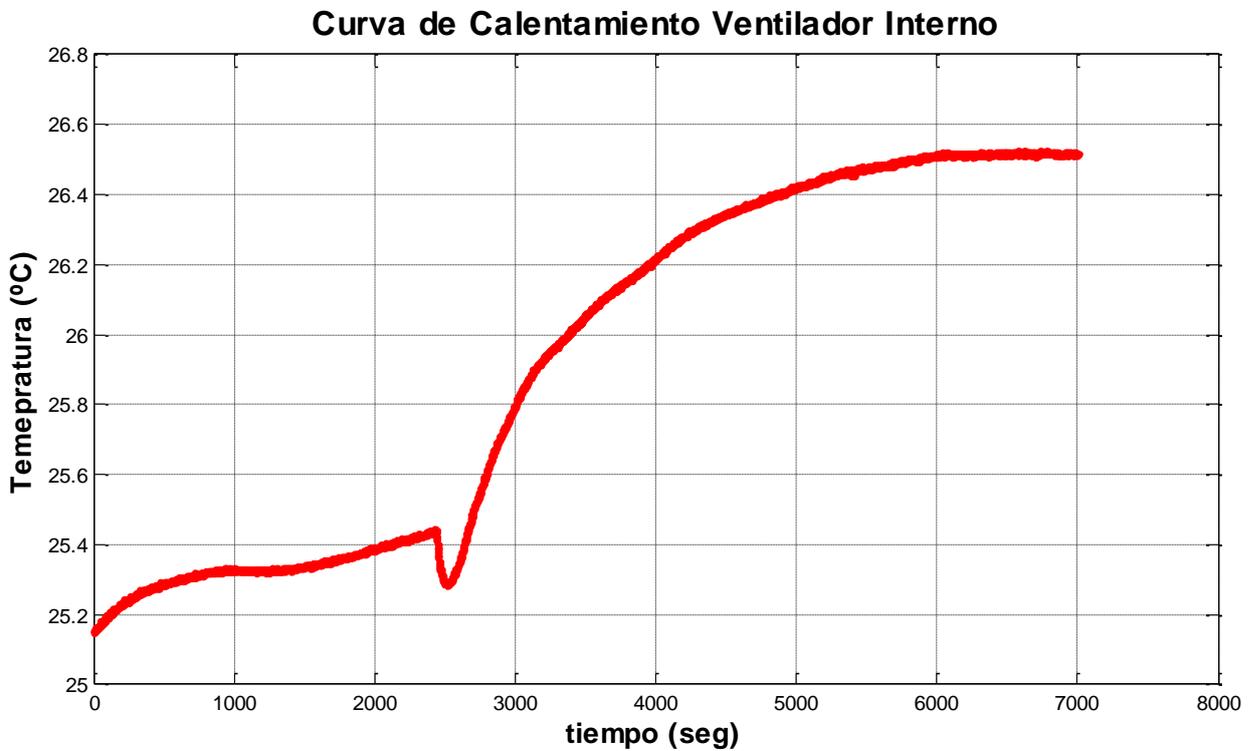
Para los efectos se de los análisis siguientes se supondrá flujo turbulento completamente desarrollado para $(\frac{x}{D}) > 10$ [6]. Lo que indica que si se toma una longitud de 16 cm Por ejemplo, quedaría entonces: $\frac{16}{10} = 1,6cm$, punto donde no se a alcanzando la condición anterior, por lo que el flujo es no desarrollado.

Por deducción, lo anterior nos indica que en el interior de la unidad estamos en presencia de un flujo no desarrollado y turbulento, además de ser forzado, por la presencia del ventilador. Lo que quiere decir que el coeficiente de convección interior en las paredes del cilindro de la unidad, debe ser mayor al coeficiente de convección exterior donde la condición es natural.

4.5 Curvas de Calentamiento del Ventilador Interno

El ventilador interno también introduce una cantidad de calor al interior de la unidad. Para tener una estimación de cuanta es la variación de la temperatura que el mismo es capaz de causar, se realizaron pruebas, únicamente con el ventilador interno en funcionamiento.

Se muestra a continuación una curva típica de calentamiento producido por el ventilador dentro de la unidad (véase el ANEXO 9).



Gráfica 17. Curva de calentamiento del ventilador interno. Temperatura ambiente: 25,15°C.

4.6 Experimento Humedad Relativa

Para realizar el control pasivo de la humedad fue seleccionado el método de la sal saturada. El experimento fue elaborado en dos fases, primero se colocó en

funcionamiento la incubadora con una acción de control proporcional-integral, y una temperatura de consigna de 37°C. La humedad relativa fue medida por un higrómetro ubicado dentro de la unidad (véase ANEXO 16), el tiempo de duración para el ensayo fue de 7200 segundos. No fue colocada la solución de sal saturada dentro de la incubadora. Una vez alcanzado un estado estable la humedad fue de 26 %.

La segunda fase del experimento se realizó bajo las mismas condiciones que la anterior, sin embargo para este caso se colocó una capsula de petri con la solución de sal saturada (véase ANEXO 16) en el fondo de la incubadora. Después de haber transcurrido un lapso de tiempo de 7500 segundos la humedad relativa medida dentro de la unidad fue de 40%.

Se utilizó una solución de cloruro de sodio (sal común) como sal para la aplicación del método de la sal saturada.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 Verificación del Modelo

El ‘Medio 1’, representó nuestro modelo, todo lo que está dentro de la incubadora menos la resistencia eléctrica, lo que nos dice que esta magnitud engloba lo que está en el interior de la unidad y no únicamente el aire.

Por otra parte, los valores de los calores específicos en el interior del recinto, la resistencia y el cilindro con las tapas, que resultaron del modelo corresponden a magnitudes muy aproximadas de los referenciados en la literatura.

Los razonamientos anteriores y el margen de error obtenido de la simulación, evidencian una buena aproximación del modelo matemático planteado, de lo que sucede con el comportamiento de la temperatura dentro de la unidad. Lo que permite hacer evaluaciones predictivas del comportamiento de la temperatura en el sistema, además de diversos cálculos de termodinámica y transferencia de calor.

5.2 Comprobación del Material del Elemento Resistivo

Por medio del cálculo del coeficiente de resistividad del elemento resistivo (sección 3.2.1 *Caracterización del Elemento Resistivo*), se demostró que el mismo es un hilo hecho de nicromo (Ni-Cr) ya que sus propiedades corresponden a las de este material. Como se puede apreciar en la *Tabla 1*.

5.3 Justificación de los Coeficientes de Convección Planteados

Debido a la complejidad de cálculo que se presenta al momento de saber los diferentes coeficientes de convección para el sistema modelado, se usó la metodología de suponerlos y luego evaluarlos con los resultados conseguidos de la simulación. Por medio del método de resistencia interna despreciable, se realizó una estimación del coeficiente de convección entre la resistencia y el Medio '1' y el de la superficie externa del Cuerpo 'p' y el medio ambiente.

Se calculan entonces los números de Biot para los coeficientes de convección derivados de la simulación.

- Número de Biot para el elemento resistivo

$$Bi_{r1} = \frac{h_r * L_c(\text{Cuerpo}r1)}{k(\text{Cuerpo}r1)} = \frac{1500 \frac{W}{m^2 * K} * 3,3112 \times 10^{-4} m}{11,2 \frac{W}{m * ^\circ C}} = 0,0407 < 0.1$$

Lo que valida el método de resistencia interna despreciable para el elemento resistivo.

- Número de Biot para el Cuerpo 'p'.

$$Bi_{pa} = \frac{h_2 * L_c(\text{Cuerpo}p)}{k(\text{Cuerpo}p)} = \frac{7,3 \frac{W}{m^2 * K} * 2,5926 \times 10^{-3} m}{0,18 \frac{W}{m * ^\circ C}} = 0.1051 \leq 0.1$$

En esta ocasión el método de resistencia interna no se valida estrictamente para el Cuerpo 'p' (cilindro de PVC y tapas de acrílico). Esto era de advertirse con el cálculo del h_{2max} que se realizó (sección 3.5.4 *Ecuaciones del Modelo Teórico: Consideraciones*) al compararse con el resultado de la simulación (sección 4.2.1 *Resultados de la Simulación*). A pesar de lo anterior, este valor se

hace aceptable para la funcionalidad de la unidad y para los cálculos hechos, debido al error que arrojó la simulación del modelo matemático.

Por otro lado el coeficiente de conducción interior del recinto ($h_1 = 11,5 \frac{W}{m^2 \cdot K}$) derivado de la simulación, fue mayor al coeficiente entre el cilindro con sus tapas y el medio ambiente ($h_2 = 7,3 \frac{W}{m^2 \cdot K}$). Esto era de esperarse ya que en el interior tenemos convección forzada lo cual es validado con el cálculo del número de Reynolds para el cilindro central de la unidad (sección 4.4 *Experimento con el Ventilador Interno. Tipo de Flujo Interno*). Se hace la acotación de que este ensayo es extensible y se asume para todo el interior de la incubadora un flujo turbulento no desarrollado, debido a las características de diseño que esta presenta.

5.4 Aporte de Calor Generado Por el Ventilador Interno

Al analizar el comportamiento de las curvas experimentales obtenidas para el ventilador (sección 4.5 *Curvas de Calentamiento del Ventilador Interno*) se aprecia que el aporte en el incremento de la temperatura por parte del mismo no es significativo a la dinámica del sistema. Por lo que esta introducción de calor al interior de la unidad, no fue tomada en cuenta para la realización de los cálculos.

5.5 Análisis de la Acción de Control

El objetivo de la estrategia de control es mantener la temperatura interna del recinto en un valor de consigna con un error no mayor a $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

Analizando la curva experimental obtenida al aplicar la acción de control encendido-apagado (On-Off) (véase *Grafica 14*), tenemos que la temperatura interna del recinto se ajusta al valor de consigna establecido, presentando oscilaciones de $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Por su parte al analizar la curva resultado del experimento con la acción de control proporcional (véase *Grafica 15*), se expresa que la temperatura interior se estabiliza por debajo del valor de consigna, presentando oscilaciones de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. La diferencia entre el valor de consigna y el valor al cual la acción de control estabiliza la temperatura es por definición producto de la propia estrategia proporcional.

Además, otra acción de control evaluada fue la proporcional-integral (véase *Grafica 16*). En dicho ensayo se observa inicialmente un sobre impulso de aproximadamente 1°C por encima del valor de consigna, para luego estabilizarse en el valor deseado con oscilaciones de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$, alcanzando un estado estable en menos de 500 seg.

Finalmente basado en los resultados experimentales se tiene que tanto la acción de control On-Off como la acción de control proporcional no son la mejor opción debido a las desventajas que presentan. Por lo cual se optó la acción proporcional integral para el sistema de control activo de la temperatura.

5.6 Cálculo de los Calores en el Sistema

Como se mencionó en el Capítulo II, en la parte de mecanismos de transferencia de calor en la incubadora, el calor generado por radiación por el elemento resistivo no será tomado en cuenta por el poco aporte a los cálculos. Partiendo de la *Ecuación 1*, se tiene:

$$Q_{rad} = A_s * F_{1-2} * \sigma * (T_s^4 - T_{air}^4) \quad (38)$$

Donde para la resistencia están, σ que es la constante de Stefan Boltzman. Equivalente a $5,670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4}$. Su área A_s (que es el área superficial de transferencia de calor de, en este caso igual a $A_{resistencia}$), la diferencia de la temperatura elevada a la cuarta potencia y F_{1-2} que es el factor de forma desde la superficie del hilo resistivo al aire dentro de la incubadora.

Cuando las temperaturas son cercanas, se puede aproximar la ecuación anterior usando un coeficiente de radiación de transferencia de calor h_{rad} [34]. Específicamente se supone que la diferencia de temperaturas $\Delta T = T_s - T_{air}$, es pequeña comparada con el promedio de temperaturas $T_m = (T_s + T_{air})/2$.

Entonces la ecuación de calor anterior puede reescribirse como sigue:

$$\left. \begin{aligned} Q_{rad} &= A_{resistencia} * h_{rad} * \Delta T \\ h_{rad} &= 4 * \sigma * T_m^3 * F_{1-2} \end{aligned} \right\} \text{ Para } (\Delta T/T_m)^2/4 \ll 1 \quad (39)$$

Para casos especiales de un objeto pequeño que se encuentra sumergido en un ambiente grande, el factor de forma puede darse como la emisividad espectral del objeto ϵ_1 .

$$h_{rad} = 4 * \sigma * T_m^3 * \epsilon_1 \quad (40)$$

Basándonos en lo anterior para el elemento resistivo, se toma un caso desfavorable en cuanto al punto de trabajo de la unidad se refiere (aproximadamente 37,5°C), en donde la potencia introducida genera altas temperaturas dentro de la incubadora para embriones de pollo, alcanzando aproximadamente 55 grados Celsius para los 5000seg. cómo se muestra en la *Gráfica 12* que se tomó de uno de los ensayos realizados. Una vez ajustado el modelo analítico planteado con la simulación, se puede observar la diferencia de temperatura entre el Cuerpo ‘r’ y el Medio ‘1’, se obtienen entonces los valores aproximados de:

$$\Delta T = 57^\circ C - 55^\circ C = 2^\circ C$$

$$T_m = \frac{(57^\circ C + 55^\circ C)}{2} = 56^\circ C$$

$$T_m = 56^\circ C + 273,15 = 329,15K$$

Con los que se calcula la relación:

$$\frac{1}{4} \left(\frac{2^{\circ}\text{C}}{56^{\circ}\text{C} + 273,15} \right)^2 \ll 1$$

$$9,2302 \times 10^{-6} \ll 1$$

Lo que nos permite calcular el calor por radiación del Cuerpo 'r' al Medio '1', con la *Ecuación 39* y tomando de la *Tabla 1* el coeficiente de emisividad del elemento resistivo, se tiene entonces:

$$h_{rad} = 4 * 5,670 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 * K^4} * (329,15K)^3 * 0,70 = 5,6613 \frac{W}{m^2 * K}$$

$$Q_{rad} = 0,0151m^2 * 5,6613 \frac{W}{m^2 * K} * 2K = 0,1709 W$$

Este valor nos da referencia de la cantidad de calor por radiación que disipa la resistencia, cuando se está introduciendo al sistema una alta potencia, que es uno de los momentos cuando el elemento resistivo está generando más radiación térmica. Para convección natural el h_{rad} y el \bar{h} son de magnitudes parecidas. Por otro lado para convección forzada, \bar{h} podría ser en uno o varios órdenes de magnitud mayor que h_{rad} , por lo que la radiación térmica puede ser obviada y no incluida en los cálculos [34].

Con los coeficientes de convección que resultaron de la simulación se calculan los diferentes calores aproximados. El elemento resistivo el cual genera el calor necesario para mantener los rangos de temperatura exigidos por las pruebas que se realizan con la unidad, tiene en su superficie un coeficiente de convección de un valor aproximado de $h_1 = 11,5 \frac{W}{m^2 * K}$. Así como lo indica el modelo (véase *Ecuación 27*) matemático planteado, se tiene lo siguiente:

$$\dot{Q}_{r1} = k_{r1} * (T_r - T_1)$$

En donde k_{r1} será por deducción (sección 3.5.4 *Ecuaciones del Modelo Teórico: Consideraciones*) una constante global de transferencia de calor. El elemento resistivo se supuso como un cuerpo de resistencia interna despreciable, donde para el cual la temperatura en su seno no varía espacialmente, sino sólo con respecto al tiempo, suposición que se valida con los resultados de la obtenidos (sección 5.3 *Justificación de los Coeficientes de Convección Planteados*). Por lo que en esta constante deben estar reflejados los procesos de transferencia de calor por convección y por radiación del elemento resistivo al Medio '1' (interior de la incubadora). El calor producido por la radiación térmica es inapreciable para los efectos del cálculo, como ya se demostró anteriormente, resultando la constante k_{r1} como:

$$k_{r1} = \frac{1}{R_{Rconv}} \quad (41)$$

$$R_{Rconv} = \frac{1}{\bar{h}_r * A_r} \quad (42)$$

El \bar{h}_r (coeficiente de convección en la superficie de la resistencia), viene dado por la simulación (sección 4.2.1 *Resultados de la Simulación*) y A_r es el área superficial de transferencia de calor de la resistencia, ya calculada anteriormente (sección 3.5.4 *Ecuaciones del Modelo Teórico: Consideraciones*)

$$R_{Rconv} = \frac{1}{1500 \frac{W}{m^2 * K} * 0,0151m^2} = 0,0441 \frac{K}{W}$$

$$k_{r1} = \frac{1}{0,0441 \frac{K}{W}} = 22,65 \frac{W}{K}$$

$$\dot{Q}_{r1} = 22,65 \frac{W}{K} * (T_r - T_1)$$

La diferencia de temperatura la escogeremos para el punto de operación de la unidad. Basándonos en la simulación para una potencia de 75%, a 37,5°C para el interior de la incubadora, el valor de temperatura de la resistencia es de 39,5705°C (véase *Gráfica 12*).

$$\dot{Q}_{r1} = 22,65 \frac{W}{K} * (39,5705^{\circ}C - 37,5^{\circ}C) = 46,8968 W$$

Lo que nos proporciona una idea de la magnitud del calor que genera la resistencia cuando la unidad está en el punto de operación.

Igualmente para el calor que sale de la incubadora al medio ambiente a través de las paredes (véase *Ecuación 29*).

$$\dot{Q}_{pa} = k_{pa} * (T_p - T_a)$$

En donde k_{pa} será por deducción (sección 3.5.4 *Ecuaciones del Modelo Teórico: Consideraciones*) una constante global de transferencia de calor. El Cuerpo 'p' se supuso como un cuerpo de resistencia interna despreciable, donde igualmente que para el elemento resistivo la temperatura en su seno no varía espacialmente, sino sólo con respecto al tiempo. Esta suposición no queda validada estrictamente por el criterio pero como se indica en la sección 5.3 *Justificación de los Coeficientes de Convección Planteados* será aceptada. Por lo que en esta constante está reflejado el proceso de transferencia de calor por convección del Cuerpo 'p' al medio ambiente. La constante k_{pa} es entonces:

$$k_{pa} = \frac{1}{R_{pconv}} \quad (43)$$

$$R_{pconv} = \frac{1}{\bar{h}_2 * A_p} \quad (44)$$

El \bar{h}_2 (coeficiente de convección en la superficie exterior del Cuerpo 'p'), viene dado por la simulación (sección 4.2.1 *Resultados de la Simulación*) y A_p es el área superficial exterior de transferencia de calor del Cuerpo 'p' (incluyendo la carcasa con forma de cilindro y ambas tapas).

$$A_p = 0,3806\text{m}^2$$

Con lo que:

$$R_{pconv} = \frac{1}{7,3 \frac{W}{m^2 * K} * 0,3806\text{m}^2} = 0,3599 \frac{K}{W}$$

$$k_{pa} = \frac{1}{0,3599 \frac{K}{W}} = 2,7783 \frac{W}{K}$$

$$\dot{Q}_{pa} = 2,7783 \frac{W}{K} * (T_r - T_1)$$

La diferencia de temperatura la escogeremos igual que para el cálculo de calor anterior para una potencia de 75%, a 37,5°C para el interior de la incubadora, el valor de temperatura de la resistencia es de 39,5705°C (véase *Gráfica 12*).

$$\dot{Q}_{pa} = 2,7783 \frac{W}{K} * (39,5705^\circ\text{C} - 37,5^\circ\text{C}) = 5,7526 W$$

Teniendo entonces una magnitud menor que el calor disipado por el elemento resistivo al interior de la unidad, lo que es un resultado lógico debido a que en el exterior de la unidad el proceso de convección es natural, generando menos disipación de calor al medio ambiente.

Para el cálculo del calor que se transfiere del Medio '1' al Cuerpo 'p', el coeficiente de convección se tiene de los resultados de la simulación (sección 4.2.1 *Resultados de la Simulación*). El calor que se transfiere a las paredes de la

unidad es por convección forzada como se indica en el modelo (sección 3.5.3 *Representación del Modelo Teórico Planteado*). Se tiene entonces (véase *Ecuación 28*):

$$\dot{Q}_{1p} = k_{1p} * (T_1 - T_p)$$

Igualmente:

$$k_{1p} = \frac{1}{R_{1conv}} \quad (45)$$

$$R_{1conv} = \frac{1}{\bar{h}_1 * A_{1p}} \quad (46)$$

A_{1p} , es el área superficial interior de transferencia de calor del Cuerpo 'p' (incluyendo la carcasa con forma de cilindro y ambas tapas).

$$A_{1p} = 0,3464m^2$$

$$R_{1conv} = \frac{1}{11,3 \frac{W}{m^2 * K} * 0,3464m^2} = 0,2554 \frac{K}{W}$$

$$k_{1p} = \frac{1}{0,2554 \frac{K}{W}} = 3,9143 \frac{W}{K}$$

$$\dot{Q}_{1p} = 3,9143 \frac{W}{K} * (39,5705^\circ C - 37,5^\circ C) = 8,1045 W$$

Siendo este un valor lógico, debido a que dentro de la unidad la transferencia de calor a las paredes internas es por convección forzada.

5.7 Control Pasivo de la Humedad Relativa

Analizando los ensayos sobre la humedad (sección 4.6 *Experimento Humedad Relativa*) se determinó que el método de la sal saturada funciona como mecanismo para el control pasivo de la humedad relativa, ya que en las pruebas realizadas la misma vario de 26% (incubadora sin sal saturada) a 40% (sal saturada colocada dentro de la incubadora).

Aun cuando el valor de humedad alcanzado no está dentro del rango óptimo para el proceso de incubación, se determinó la funcionalidad del método, por tal razón se recomienda usar cloruro de sodio puro y realizar la solución con agua destilada, para obtener un valor de la humedad relativa más elevado.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

La incubadora diseñada permite el acceso del cableado, tanto para la instrumentación de los huevos como para el sensor control activo de temperatura.

El diseño de la tapa superior de la incubadora, totalmente transparente facilita la captura en video de los ensayos realizados.

El modelo matemático planteado en el diseño es capaz de predecir el comportamiento de la temperatura en el interior de la incubadora diseñada.

El sistema de control diseñado permite controlar de forma activa la temperatura en el interior de la incubadora, manteniéndola en un valor preestablecido con un error de $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ en la medición. La estrategia de control seleccionada fue del tipo proporcional integral y la misma puede ser cambiada ajustando el código programado en el microcontrolador PIC16F876.

El control pasivo de la humedad basado en el método de la sal saturada mantiene la humedad relativa dentro de un rango de 39% y 41%.

La incubadora diseñada cumple con las exigencias del laboratorio para la realización de los estudios en embriones de pollo.

Recomendaciones o Sugerencias

- Realizar completamente la carcasa de la maqueta en acrílico o plexiglás, mejorando con esto en gran medida la visibilidad hacia dentro de la incubadora.
- Mecanizar el sensor LM335, para disminuir su encapsulado, y mejorar así su velocidad de respuesta antes los cambios de temperatura.
- Adquirir las barras roscadas y tuercas en acero inoxidable.
- Generador de electricidad automático extra, que provea suficiente poder para operar la incubadora en caso de que la fuente principal falle.
- Sistema de alarma de indicadores de fallas eléctricas o de los sistemas, para que se ubiquen problemas rápidamente, en caso de que se den los mismos.
- Sistema de alarma secundaria para indicar temperaturas altas o bajas, que sean independientes de la fuente principal de electricidad o del sistema de control de la unidad.
- Circuitos impresos y no en baquelitas perforadas.
- Unificar la fuente de alimentación.
- Adquirir un programador que permita cargar el PIC, sin tener que desmontarlo del circuito.
- Para mejorar la precisión en la medición de la temperatura, debe hacerse una mejora en el circuito eléctrico en cuanto al nivel de ruido que este presenta.

MANUAL DE LA UNIDAD

Esta incubadora para el estudio de embriones de pollo, cuenta adicionalmente con una guía o manual del usuario. El cual tiene como finalidad dar a conocer de una manera sencilla, lo que es la unidad en sí, cómo usarla y algunas indicaciones para su buen funcionamiento y mantenimiento. El mismo es un documento técnico que intenta asistir a los usuarios que utilicen el dispositivo.

En el ANEXO 17 se muestra el manual completo de la incubadora para el estudio de embriones de pollo. Para consultar el original del ejemplar, póngase en contacto con el personal del Laboratorio de Morfologías Integrales del Instituto Anatómico José Izquierdo, de la Universidad Central de Venezuela.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Caritza, C. y Cesar, S. (2004) **Diseño y estudio de factibilidad económica de un prototipo de incubadora experimental de huevos de pato real.** Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Mecánica, Caracas.
2. Cumana, L. y Hernández, R. (1986). **Diseño y construcción de un horno para baño de sales fundidas con un controlador de temperatura tipo on-off.** Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Mecánica, Caracas.
3. Dagger, O. M. (1973). **Control programable de temperatura.** Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Mecánica. Caracas.
4. Espinosa, S. y Masani, G. (2000). **Fundamentos de Transferencia de calor** [Documento en línea]. Disponible:
http://fain.uncoma.edu.ar/prof_tec/mecanic/termodin/fundame_calor.pdf
[Consulta: 2007, Julio 20]
5. **Fundamentos de control automático industrial.** (s.f). [Página web en línea].
Disponible:
http://www.sapiensman.com/control_automatico/#el_controlador_automatiko
[Consulta: 2007, Julio 29]
6. Incropera, F. y Dewitt, D. (1999). **Fundamentos de Transferencia de calor.** México: Pearson Educación.

7. Mesa, P. (2004). **Implementación de un PLC en un sistema de regulación PID para el control de procesos de nivel, presión, temperatura y humedad.** Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Mecánica. Caracas.
8. Ogata, K. (1998). **Ingeniería de Control Moderna** (3^a. ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.
9. Oliveira, D. y Ruiz, M. (1999). **Diseño de un sistema de control de temperatura y humedad relativa de un taller de reparaciones y almacenaje de motores.** Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Mecánica. Caracas.
10. Reyes, I. (1978). **Diseño y puesta en marcha de un horno calentado por resistencia eléctrica.** Tesis de grado no publicada, Universidad Central de Venezuela. Ingeniería Mecánica. Caracas.
11. Sardá, R. (2002). **Régimen de incubación artificial.** [Documento en línea]. Disponible: <http://www.iaa.cu/teminc02.php> [Consulta: 2007, Julio 30]
12. **Sistemas de control.** (2003). [Documento en línea]. Disponible: <http://64.233.169.104/search?q=cache:GQZDWuzUi04J:www.fi.uba.ar/materias/6722/acciones%2520basicas%2520PID.pdf+http://www.fi.uba.ar/materias/6722/acciones%2520basicas%2520PID.pdf&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=ve> [Consulta: 2007, Julio 29]
13. **Mailxmail.** (s.f). [Página web en línea]. Disponible: <http://www.mailxmail.com/curso/informatica/componentespcs/capitulo36.htm> [Consulta: 2007, Noviembre 11]

- 14. Sistemas de Adquisición de Datos. doc.** (s. f). [Documento en línea].
Disponible:
<http://docentes.uacj.mx/ovaldez/Adquisicion/Curso/unidad%202%202002.doc>
[Consulta: 2008, Noviembre 8]
- 15. Transductores de Temperatura. pdf.** (s. f). [Documento en línea].
Disponible:
<http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/cap4.pdf> [Consulta: 2008, Marzo 8]
- 16. Galleto A. (s.f). Medición de Temperatura** [Página web en línea].
Disponible: <http://www.clubse.com.ar/news/news11/notas/nota05.htm>
[Consulta: 2008, Noviembre 10]
- 17. Sensores-Conceptos generales-Robots Argentina.** (2009). [Página web en línea]. Disponible:
http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm#termistores
[Consulta: 2009, Febrero 11]
- 18. Temperature Sensors for Health Science & Industry. pdf.** (s. f).
[Documento en línea]. Disponible:
<http://www.cornerstonesensors.com/reports/ABC%20Coefficients%20for%20Steinhart-Hart%20Equation.pdf> [Consulta: 2009, junio 14]
- 19. Tutorial: Acondicionamiento de Señales. pdf.** (s. f). [Documento en línea].
Disponible:
[http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/a6c5283ceb7366cc86256e5900705e37/\\$FILE/Acondicionamiento%20de%20Se%C3%B1ales.pdf](http://digital.ni.com/worldwide/latam.nsf/87e62f4c89ea9df9862564250075e6e4/a6c5283ceb7366cc86256e5900705e37/$FILE/Acondicionamiento%20de%20Se%C3%B1ales.pdf) [Consulta: 2008, Diciembre 10]

- 20. Transductores de temperatura.** (2008). [Documento en línea].
Disponible:
<http://www.wikiciencia.org/electronica/electricidad/ttemperatura/index.php>
[Consulta: 2009, Octubre 23]
- 21. Gil S., Rodriguez E.** (s.f). **Termometría – Sensores de Temperatura.**
[Documento en línea]. Disponible:
<http://www.fisicarecreativa.com/guias/sensores-temp.pdf> [Consulta: 2009, Octubre 14]
- 22. Eduardo J. C.** (2009). **Sensores – Conceptos Generales – Robots Argentina.** [Página web en línea]. Disponible:
http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm
[Consulta: 2009, Septiembre 10]
- 23. Ivan E.** (s.f). **Transductores Y Sensores.** [Página web en línea]. Disponible:
http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/transductores-sensores/
[Consulta: 2009, Septiembre 23]
- 24. Monografías.** (2007, Julio 24). [Página web en línea].
Disponible: <http://www.monografias.com/trabajos10/humed/humed.shtml>
[Consulta: 2008, Junio 10]
- 25. Embriodiagnos y Ovoscopia. Analisis y Control de Calidad de los Huevos Incubables.pdf** (2005). [Documento web en línea]. Disponible:
<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n030305/030504.pdf> [Consulta: 2009, Agosto 14]
- 26. Sensores de Humedad.pdf.** (s. f). [Documento en línea].
Disponible:
<http://www.elo.utfsm.cl/~elo372/complemento2.pdf> [Consulta: 2008, Mayo 2]

- 27. Matlab en Aplicaciones de Robótica Movil.pdf.** (s. f).
[Documento en línea]. Disponible:
<http://www.compelect.com.co/otros/diamatlab/2005/PAPPERok.pdf>
[Consulta: 2008, Abril 15]
- 28. Greenspan L. (1977). Journal of Research of the National Bureau of Standards-A, Physics and Chemistry: Humidity Fixed Points of Binary Saturated Aqueous Solutions.** 1(81A), 89 – 96.
- 29. Organisation Internationale de Metrologie Légale (1996). The Scale of Relative Humidity of Air Certified Against Saturated of Salt Solutions.**
- 30. O' Brien. F. (1946). British Electrical and Allied Industries Research Association: The Control of Humidity by Saturated Salt Solutions.** 73 – 76.
- 31. Winston P. Bates D. (1960). Ecology: Saturated Solutions for the Control of Humidity in Biological Research.** 1(41), 232 – 237.
- 32. Plasticbages Industrial, S.L: Características Técnicas del PVC.** (s. f).
[Página web en línea].
Disponible: <http://www.plasticbages.com/caracteristicaspvc.html>
[Consulta: 2008, Junio 13].
- 33. Multiopciones Plásticas: Propiedades del Acrílico.** (s. f).[Página web en línea]. Disponible: <http://www.laminadeacrilico.com.mx/gpage18.html>
[Consulta: 2008, Junio 13].
- 34. Lienhard IV, J. y Lienhard V, J. (2008). A Heat Transfer TextBook** (3^a. ed.).
Massachusetts U.S.A.: Phlogiston Press Cambridge.

35. Wildi, R. y Navarro, S. (2007). **Máquinas Eléctricas y Sistemas de Potencia** (6ª ed.). México: Pearson Educación.
36. Martínez, C. (2005). **Descripciones Geográficas del Obispado de Michoacán en el Siglo XVIII. Publicaciones de la Casa Chata (Introducción a la Paleografía)**. México: CIESAS.
37. **Wayoo.com.ve: Incubadoras Y Nacedoras**. (s. f).
[Página web en línea].
<http://www.wayoo.com.ve/c-incubadorasZ0yZ0nacedorasWo0Wo01Wo0ClasificadosWo0incubadorasZ0yZ0nacedoras> [Consulta: 2008, Agosto 01].
38. **PTO: Poultry Technical Office**. (2009).
[Página web en línea].
<http://ptoincubators.com/poultry/index.php?action=incubation> [Consulta: 2009, Abril 09].
39. **Apéndice A: Metodología para la Evaluación del Modelo de Pronóstico Meteorológico**. (s. f).
[Documento en línea]. Disponible:
http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0317105-174201//11Ojc11de12.pdf [Consulta: 2009, Agosto 22].

BIBLIOGRAFÍA

Angulo, J. U. y Angulo I. M. (2003). **Microcontroladores PIC. Diseño Práctico de Aplicaciones** (3ª. ed.). Madrid: Mc Graw Hill

Balestrini, A. (2002). **Como se Elabora el Proyecto de Investigación. Para los Estudios Formulativos o Exploratorios Descriptivos, Diagnósticos, Evaluativos, Formulación de Hipótesis Causales, Experimentales y los Proyectos Factibles.** Caracas: BL Consultores Asociados, Venezuela..

Cengel, Y. y Boles M. (1998). **Termodinámica** (2ª. ed.), Chile: McGraw Hill

Incropera, F. y Dewitt, D. (1999). **Fundamentos de Transferencia de calor.** México: Pearson Educación.

Lienhard IV, J. y Lienhard V, J. (2008). **A Heat Transfer TextBook** (3ª. ed.). Massachusetts U.S.A.: Phlogiston Press Cambridge.

Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría y Tesis Doctorales (2006). Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (FEDUPEL).

Morrella M., María P., y Leudith F. (2005). **Instructivo para la Presentación de Tesis de Pregrado, Postgrado, Doctorado y Trabajos de Ascenso.** Caracas. Universidad Central de Venezuela Facultad de Ingeniería Comisión de Bibliotecas para la Normalización de la Presentación de Trabajos Especiales de Depósito Legal.

Ogata, K. (1998). **Ingeniería de Control Moderna** (3ª. ed.). México: Prentice Hall Hispanoamericana, S. A.

ANEXOS

[ANEXO 1]

Hojas de Datos (Datasheet)

Se presentan a continuación la primera página de las hojas de datos de algunos elementos electrónicos utilizados. De manera ordenada:

- LM555
- LM335

LM555 Timer

General Description

The LM555 is a highly stable device for generating accurate time delays or oscillation. Additional terminals are provided for triggering or resetting if desired. In the time delay mode of operation, the time is precisely controlled by one external resistor and capacitor. For astable operation as an oscillator, the free running frequency and duty cycle are accurately controlled with two external resistors and one capacitor. The circuit may be triggered and reset on falling waveforms, and the output circuit can source or sink up to 200mA or drive TTL circuits.

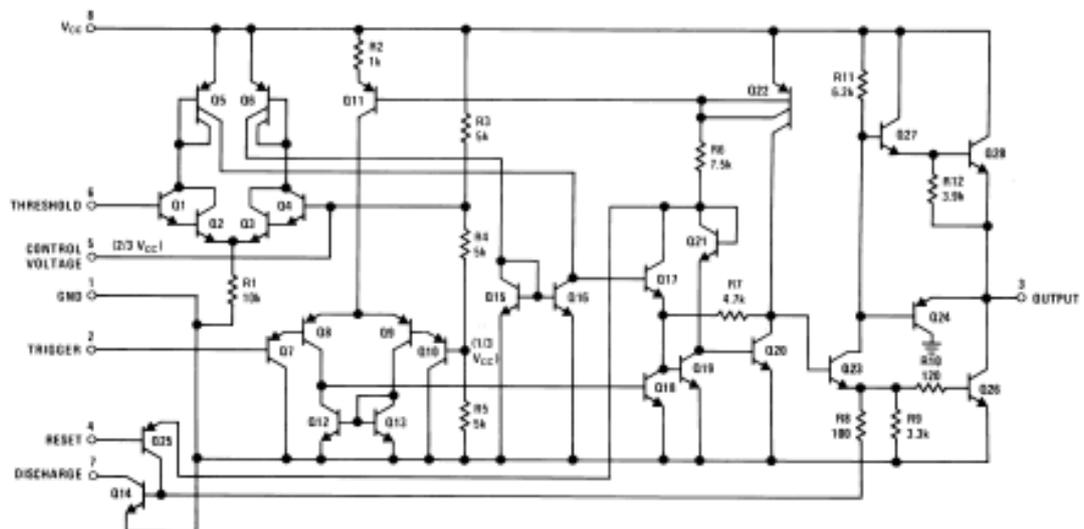
Features

- Direct replacement for SE555/NE555
- Timing from microseconds through hours
- Operates in both astable and monostable modes
- Adjustable duty cycle
- Output can source or sink 200 mA
- Output and supply TTL compatible
- Temperature stability better than 0.005% per °C
- Normally on and normally off output
- Available in 8-pin MSOP package

Applications

- Precision timing
- Pulse generation
- Sequential timing
- Time delay generation
- Pulse width modulation
- Pulse position modulation
- Linear ramp generator

Schematic Diagram



00785101



LM135-LM235-LM335

Precision temperature sensors

Features

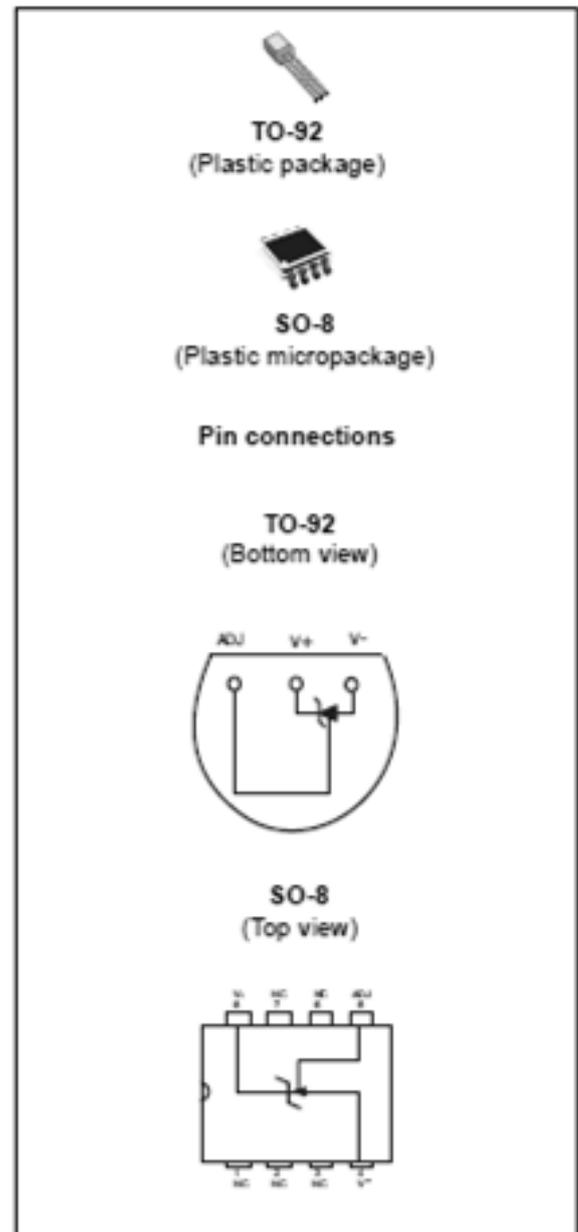
- Directly calibrated in °K
- 1°C initial accuracy
- Operates from 450µA to 5mA
- Less than 1Ω dynamic impedance

Description

The LM135, LM235, LM335 are precision temperature sensors which can be easily calibrated. They operate as a 2-terminal Zener and the breakdown voltage is directly proportional to the absolute temperature at 10mV/°K.

The circuit has a dynamic impedance of less than 1Ω and operates within a range of current from 450µA to 5mA without alteration of its characteristics.

Calibrated at +25°C, the LM135, LM235, and LM335 have a typical error of less than 1°C over a 100°C temperature range. Unlike other sensors, the LM135, LM235, LM335 have a linear output.

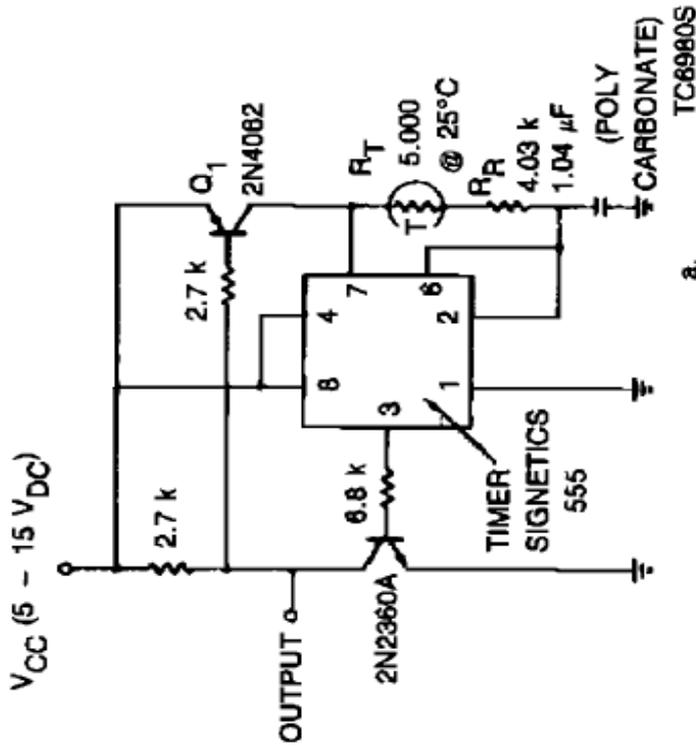


[ANEXO 2]

Montaje de un Control de Temperatura

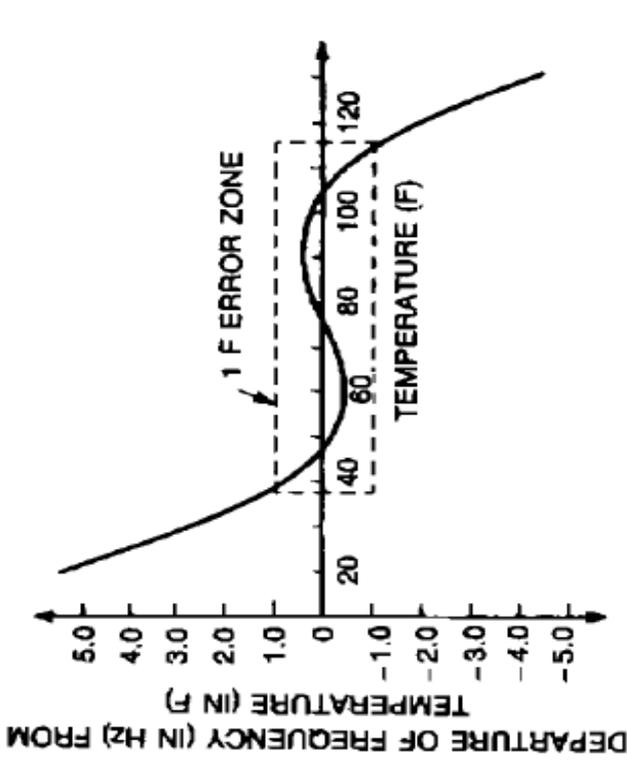
La gran versatilidad del circuito integrado LM555, permite realizar muchas cosas entre la que están un control de temperatura utilizando un termistor NTC. Se muestra a continuación el montaje.

TEMPERATURE CONTROL



a.

NOTE:
All resistor values are in ohms.



b.

OP03400S

SIGNETICS

Fig. 99-2

Circuit Notes

A couple of transistors and a thermistor in the charging network of the 555 type timer enable this device to sense temperature and produce a corresponding frequency output. The circuit is accurate to within ± 1 Hz over a 78°F temperature range.

[ANEXO 3]

Cotización del Ioduro de Potasio

Se muestra a continuación, la hoja en detalle de uno de los presupuestos que se consiguieron para la sal de ioduro de potasio o potasio ioduro.



DIRECCION : 2DA. AVENIDA URB. SANTA EDUVIGIS
 RESID. EDISON, LOCAL P.B. - CARACAS
 TELF. : 278.58.11 (Master)
 FAX : 285.48.18 - 283.42.53 - 283.63.35
 E-Mail : cotizaciones@didacta.com.ve
 RIF. J-00011271-1 N.I.T. 0005054630

* COTIZACION *
 NUMERO : 137680
 PAGINA : 1
 Caracas 23/06/2009

Capital Bs. : 200.000,00 Visite nuestra página Web www.didacta.com.ve para cualquier información adicional.

U020B UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
 Atn: SR. EDICKSON RAMIREZ Telf
 Ciudad Universitaria.- Los Chaguaramos
 Entrega: Facultad de Ciencias, escuela de Química.-
 Caracas Dpto. Capital Rif G-20000062-7 Nit 0

REQUISICION S/R22-06-09
 ASESOR # 4
 COND. PAGO Credito 15 Dias
 TRANSPORTE DIDACTA
 Permiso PTJ

| Línea | Código | Cantidad | Descripción | P.Unitario | Importe |
|-------|------------|----------|---|------------|---------|
| 1 | 21 P270625 | 1 | POTASIO YODURO (KI) p.a. 500 g R.D.H. 30315 | 250,00 | 250,00 |
| 2 | 21 P270626 | 1 | POTASIO YODURO (KI) p.a. 1 Kg R.D.H. 30315 | 445,00 | 445,00 |

NO SE ACEPTAN CAMBIOS NI DEVOLUCIONES DE MATERIAL SIN JUSTIFICACION.
 SE LE SUGIERE POR FAVOR LEER BIEN LA COTIZACION PRESENTADA Y
 CONSULTAR AL USUARIO SI ESTE MATERIAL CUMPLE CON SUS
 ESPECIFICACIONES, SINO DICHAS DEVOLUCIONES TENDRAN UN RECARGO DEL
 10% .

*** TIEMPO DE ENTREGA INMEDIATO SALVO PREVIA VENTA O HASTA AGOTARSE
 LA EXISTENCIA *** CAMBIO DE PRECIO SIN PREVIO AVISO, Y SEGUN
 DISPONIBILIDAD.

*****EN LA EVENTUAL ORDEN DE COMPRA, LAS DESCRIPCIONES DE LOS
 ARTICULOS DEBEN SER TEXTUALMENTE LAS MISMAS QUE APARECEN EN
 NUESTRA OFERTA*****

*** EFECTUAR SU PAGO A NOMBRE DE DIDACTA, C.A. CON CHEQUE
 CONFORMABLE, DE GERENCIA O DPSTO. ACREDITADO A LAS CUENTAS
 CORRIENTES DE LOS BANCOS: PROVINCIAL: 0108-0940-14-0100001544;
 VENEZUELA: 0102-0124-19-0002873523 ***

*** ENVIAR COPIA DEL DEPOSITO, INDICANDO EL DOCUMENTO CANCELADO ***
 **** PUEDE IR A NUESTRO ALMACEN UBICADO EN BOLEITA NORTE, CALLE
 VARGAS, EDIF. J.B. MONTINI, PLANTA BAJA, DONDE PUEDE HACER SU COMPRA
 POR MENOS DE ESTE MONTO. GRACIAS *****

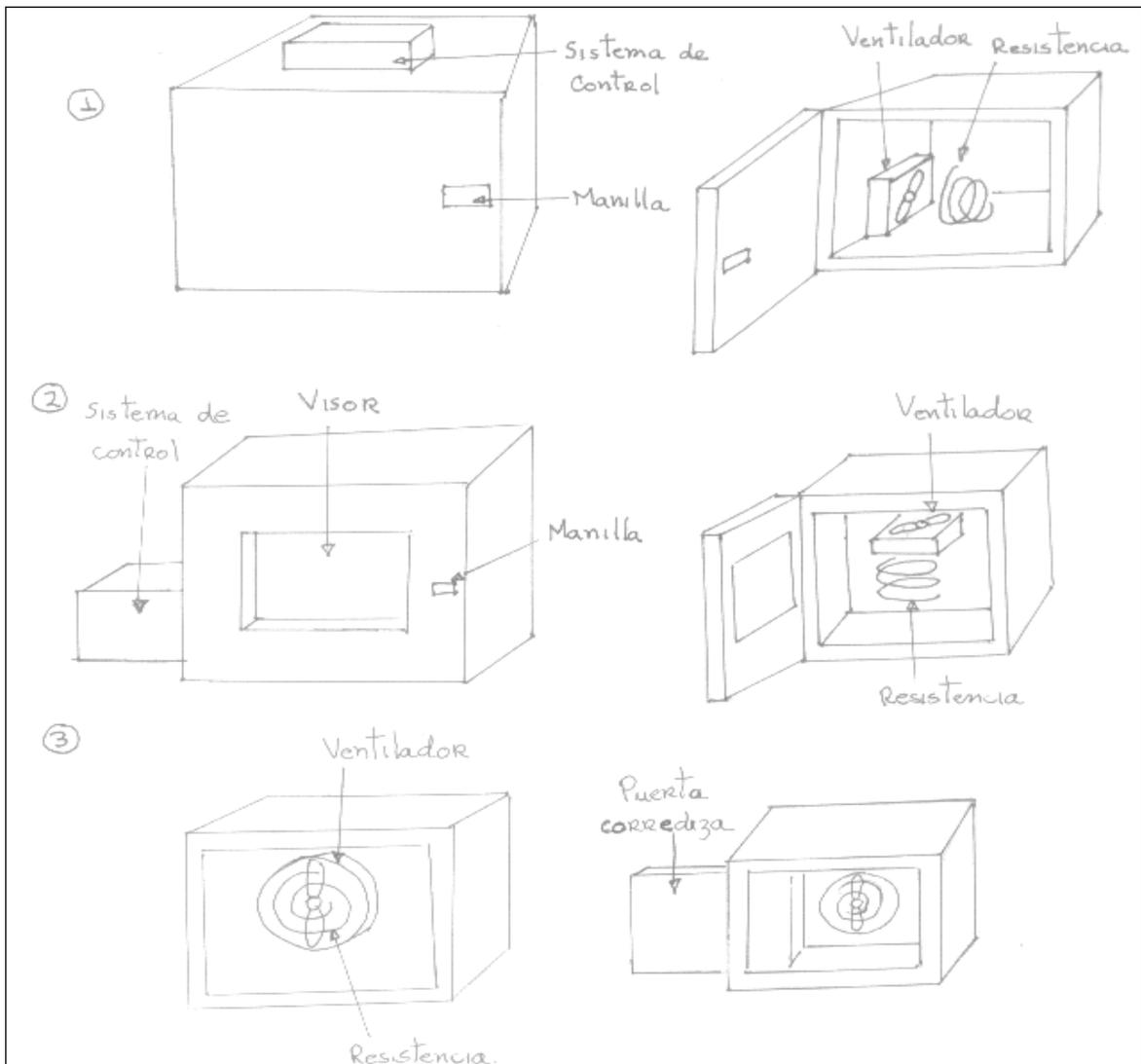
Sub- Total Bs.

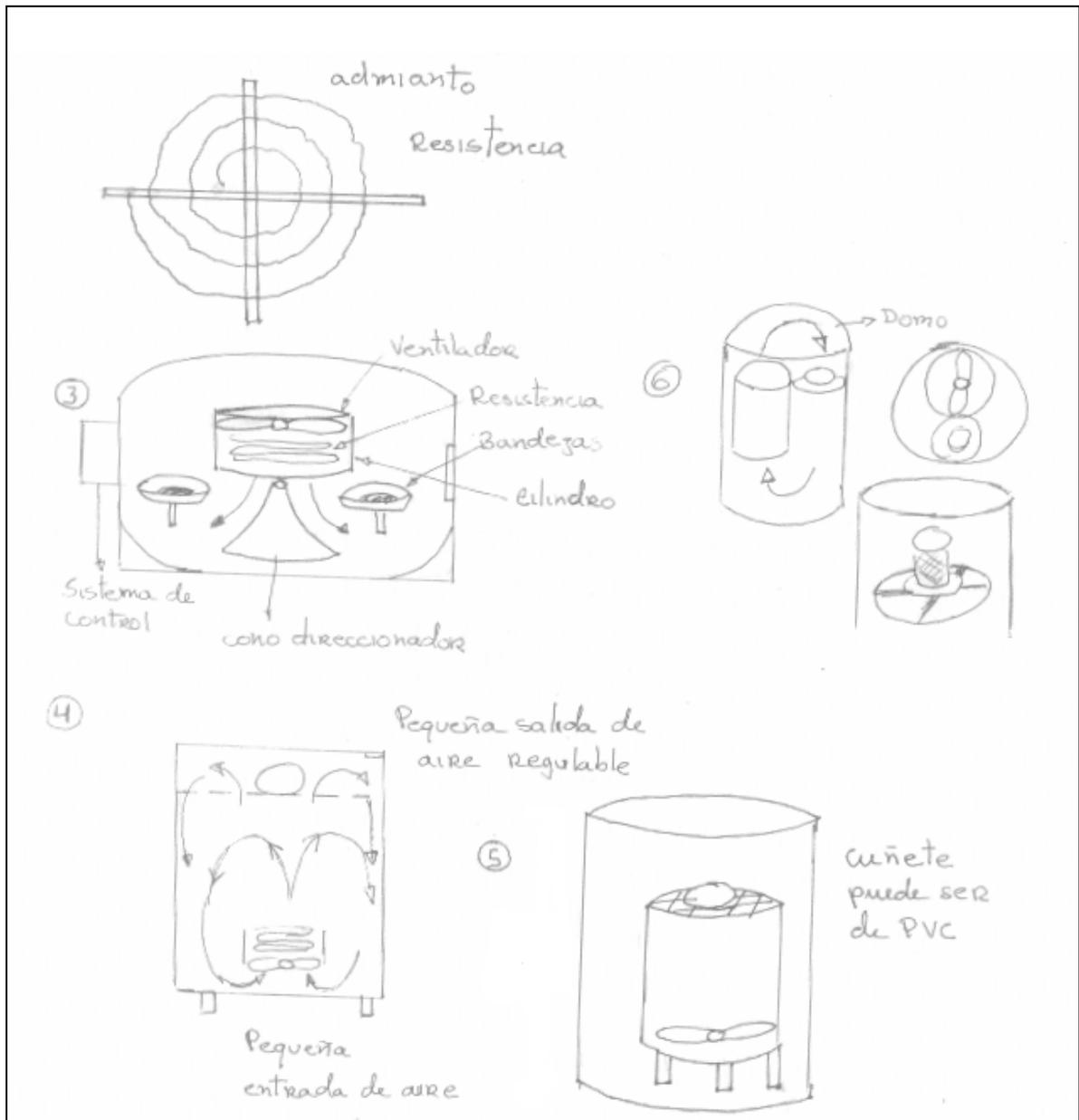
695,00

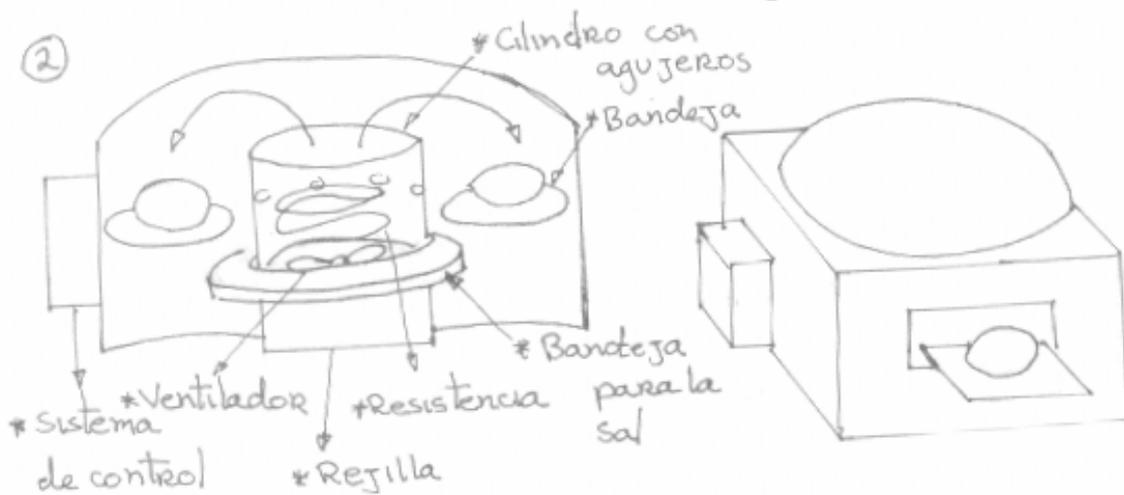
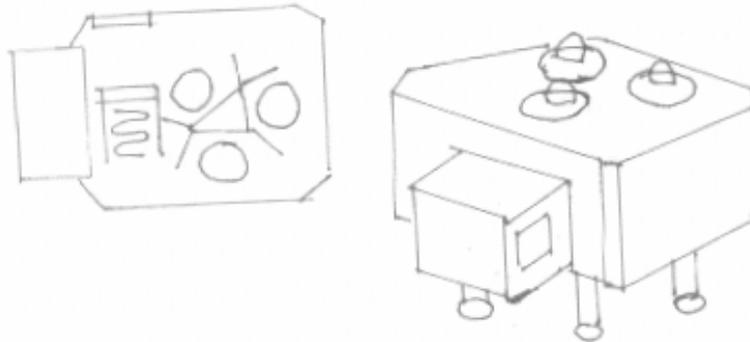
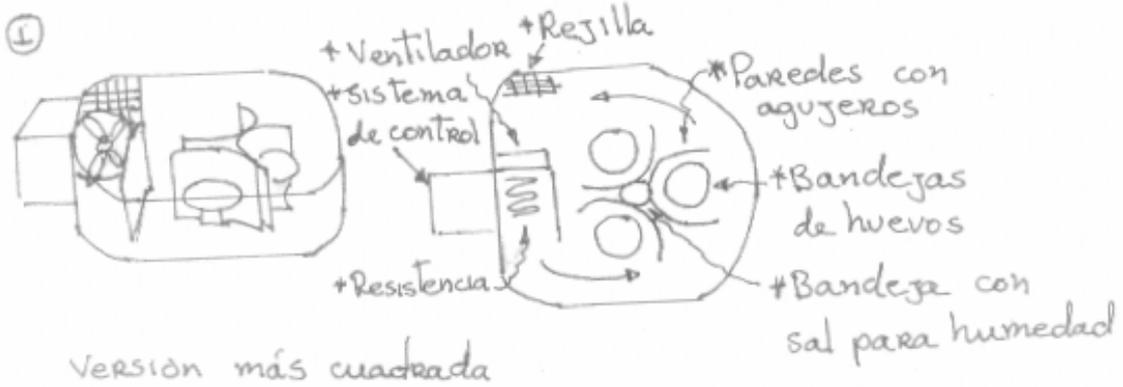
[ANEXO 4]

Bocetos

Una parte ineludible en cualquier proceso de diseño son los bosquejos o bocetos que se realizan antes de darle forma completa a las ideas que se tienen en mente. A continuación se muestran algunos de tantos bocetos que se realizaron para el logro del proyecto, y de las diferentes maquetas que se hicieron, para dar referencia a lo que se pensaba.

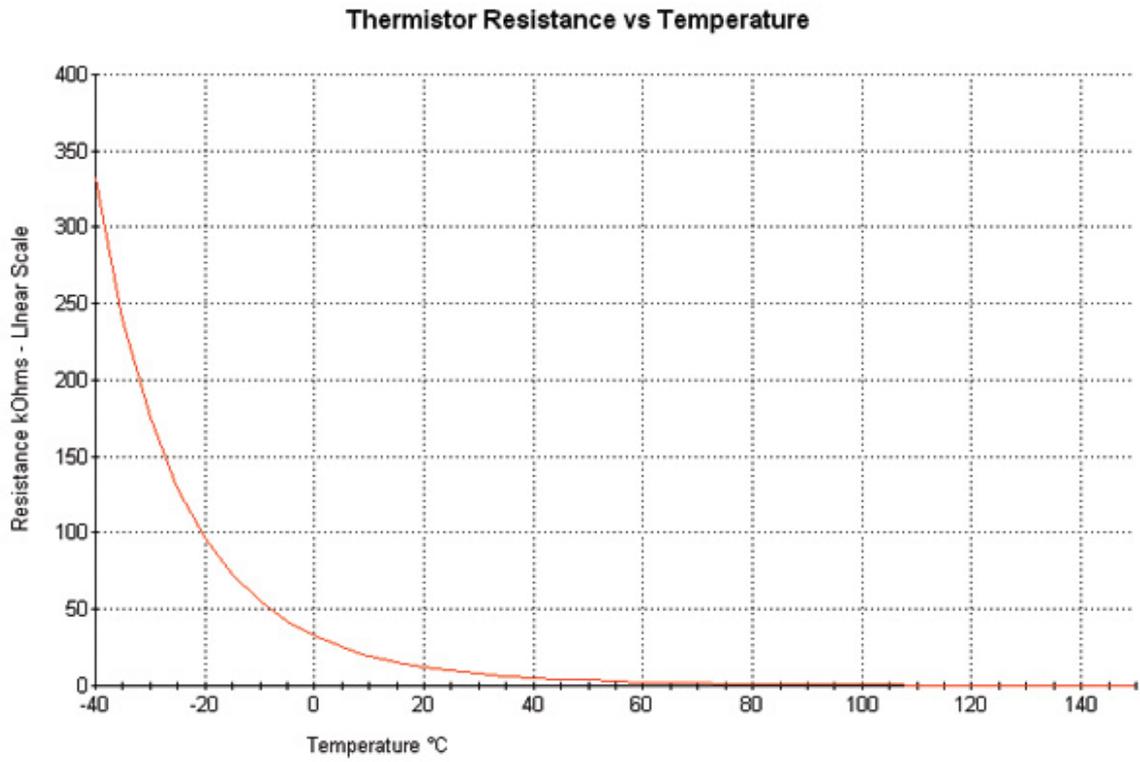






[ANEXO 5]

Curva Característica de un Termistor



[ANEXO 6]

Código para la Simulación del Modelo Matemático

La *Matriz de Estado* arrojada por el modelo matemático planteado, se codificó en el mismo programa computacional con el que se trabaja en el laboratorio del instituto. Con el código elaborado se ejecuta la simulación del sistema proceso para el que se efectuaron diferentes experimentos hasta obtener los diferentes valores que se buscaban.

El algoritmo consta de una página principal y adicionalmente de una función en la cual se alojan los parámetros que se obtuvieron, desde donde se manipularon hasta lograr un error aceptable para la simulación.

Página Principal:

```
%% -----DESCRIPCIÓN-----
% Código empleado para la simulación del modelo teórico planteado
para la incubadora diseñada.

%% -----LEYENDA Variables involucradas-----

%*****TEMPERATURAS
% Tr: temperatura interna de la resistencia
% Ta: temperatura ambiente
% T1: temperatura dentro del recinto
% T2: temperatura de cilindro y tapas
% Tio: condicion inicial de temperatura en i

%*****CALORES
% Pe: Potencia eléctrica V*I
% q1: calor disipado por la resistencia eléctrica al interior
recinto
% q12: calor que entra al cilindro y tapas desde el interior
recinto
% q2a: calor que sale del cilindro y tapas

%*****COEFICIENTES DE CONVECCIÓN ENTRE LOS MEDIOS
% hr: coeficiente de convección entre resistencia y el interior
del recinto
% h1: coeficiente de convección entre el interior del recinto y
las tapas y cilindro

% h2: coeficiente de convección entre las tapas y cilindro y el
ambiente

%*****RESISTENCIAS EQUIVALENTES
```

```

% Rre: resistencia equivalente en la resistencia
% Rle: resistencia equivalente en la pared interna del cilindro
% Rpe: resistencia equivalente en la pared externa del cilindro

%*****CALORES ESPECÍFICOS
% cpr: calor especifico de la resistencia
% cp1: calor especifico del recinto interno
% cp2: calor especifico del cilindro y tapas

%*****OTROS
% mr: masa de la resistencia
% m1: masa del recinto interior
% m2: masa del cilindro y tapas

%*****CONDICIÓN INICIAL Y FINAL DEL TIEMPO DE SIMULACIÓN
% ti: tiempo inicial
% tf: tiempo final

%%
clc
clear all

%% -----DATOS:-----

%*****Temperatura Ambiente
Ta = 24.65 + 273.15; %temperatura ambiente [K], para un
                    porcentaje de potencia
                    determinado(Ejemplo: potencia del 62.5%)

%*****Intervalo de tiempo y condición inicial
    ti = 0;          %en segundos[seg]
    tf = 5498;      %en segundos[seg]

%*****Temperaturas iniciales

    Tro = 24.65 + 273.15; %temperatura en [K]
    T1o = 24.65 + 273.15; %temperatura en [K]
    T2o = 24.65 + 273.15; %temperatura en [K]

%% -----SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES

[t,T] = ode23tb('Funcion_a_Simular',[ti tf],[Tro; T1o; T2o]);

%% -----GRÁFICAS INVOLUCRADAS-----

%***Carga y graficación de los datos experimentales. Para un
porcentaje de potencia determinado.(Ejemplo: potencia del 62.5%)

load Prueba7_IncubaFinal_SanMartin_Potencia62_5_2009-11-06.mat
Temp_Vect = Temp_Vect(154:2903);
Time_Vect = Time_Vect(154:2903);
tmedi = 86400*(Time_Vect - Time_Vect(1));
plot(tmedi, Temp_Vect, '-');hold on;grid on;

```

```

%*****grafico de la solución de la ecuación
diferencial*****
plot(t,T-273.15)
shg
grid on

%**Rotulación de la grafica (leyenda,titulo y nombre de los
ejes)**

legend('Temp.Interior.Exp','Temp.Resistencia','Temp.Interior','Tem
p.Pared')
title('Comparacion Simulacion Vs Curva experimental')
xlabel('tiempo (seg)')
ylabel('Temperatura (°C)')

%% -----CÁLCULO DEL ERROR CUADRÁTICO MEDIO-----

Temp_Inter = interp1(tmedi,Temp_Vect',t);
Erms = sqrt(sum((Temp_Inter - (T(:,2)-273.15) ).^2) /
length(Temp_Inter))

%% FIN DEL CÓDIGO

```

Página de la función:

```

function f= Funcion_a_Simular(t,T)

%% -----DEFINICIÓN de Funcion_a_Simular-----
% Función Solucion de la ecuacion diferencial de la matriz de
estado para la incubadora diseñada

%% -----DATOS:-----

Pe = ((32^2)/15.63)*0.625; %porcentaje de potencia introducida[W]
(Ejemplo: potencia del 62.5%)

Ta = 24.65 + 273.15; %temperatura ambiente [K], para un
porcentaje de potencia
determinado(Ejemplo: potencia del 62.5%)

%-----Áreas de transferencia de calor:-----

Ar = 0.0151; %[m2] área de la resistencia

Alp = 0.0935 + 0.2529; %[m2] área interna del
recinto, tapas y cilindro

```

```

Apa = 0.1013 + 0.0079796 + 0.2633;    %[m2]  área externa del
                                         Recinto

%-----Masas de los cuerpos-----

mr = 300;          %[g]  masa de la resistencia
m1 = 500;          %[g]  masa del interior del recinto
m2 = 3000;         %[g]  masa de cilindro y tapas

%-----Calores específicos de los cuerpos-----

cpr = 0.40;        %[j/g*K]  calor especifico de la resistencia
cp1 = 0.7;         %[j/g*K]  calor especifico del interior del
recinto
cp2 = 1;           %[j/g*K]  calor especifico de cilindro y tapas

%-----Coeficientes de convección entre los medios-----

hr = 1500;         %[w/m2*k] coeficiente de convección entre
resistencia y el interior del recinto

h1 = 10.9;         %[w/m2*k] coeficiente de convección entre el
interior del recinto y las tapas y cilindro

h2 = 7.5;          %[w/m2*k] coeficiente de convección entre las
%tapas y cilindro y el ambiente

%-----Resistencias equivalentes-----

Rre = 1 / (hr*Ar);    %[k/w] resistencia equivalente en la
Resistencia

Rle = 1 / (h1*A1p);   %[k/w] resistencia equivalente en las
tapas y cilindro(Superficie Interna)

Rpe = 1 / (h2*Apa);   %[k/w] resistencia equivalente en las
tapas y el cilindro(Superficie Externa)

%-----Coeficientes globales de transferencia de calor-----

kr = 1/Rre;          %[w/k] desde la resistencia al recinto
k1 = 1/Rle;          %[w/k] desde el aire a las tapas y pared del
cilindro
k2 = 1/Rpe;          %[w/k] desde las tapas y la pared del cilindro al
ambiente

%% -----CÁLCULO de f:-----
-----
%-----Inicialización de DYDT-----
f = zeros(2,1);

%-----Balance energía resistencia-----
f(1) = (-kr*T(1) + kr*T(2) + Pe)/(mr*cpr);

```

```
%-----Balance energía enel interior del cilindro-----  
f(2) = (kr*T(1) - (kr+k1)*T(2) + k1*T(3) )/(m1*cp1);  
  
%-----Balance energía paredes del cilindro-----  
f(3) = (k1*T(2) - (k1+k2)*T(3) + k2*Ta)/(m2*cp2);
```

[ANEXO 7]

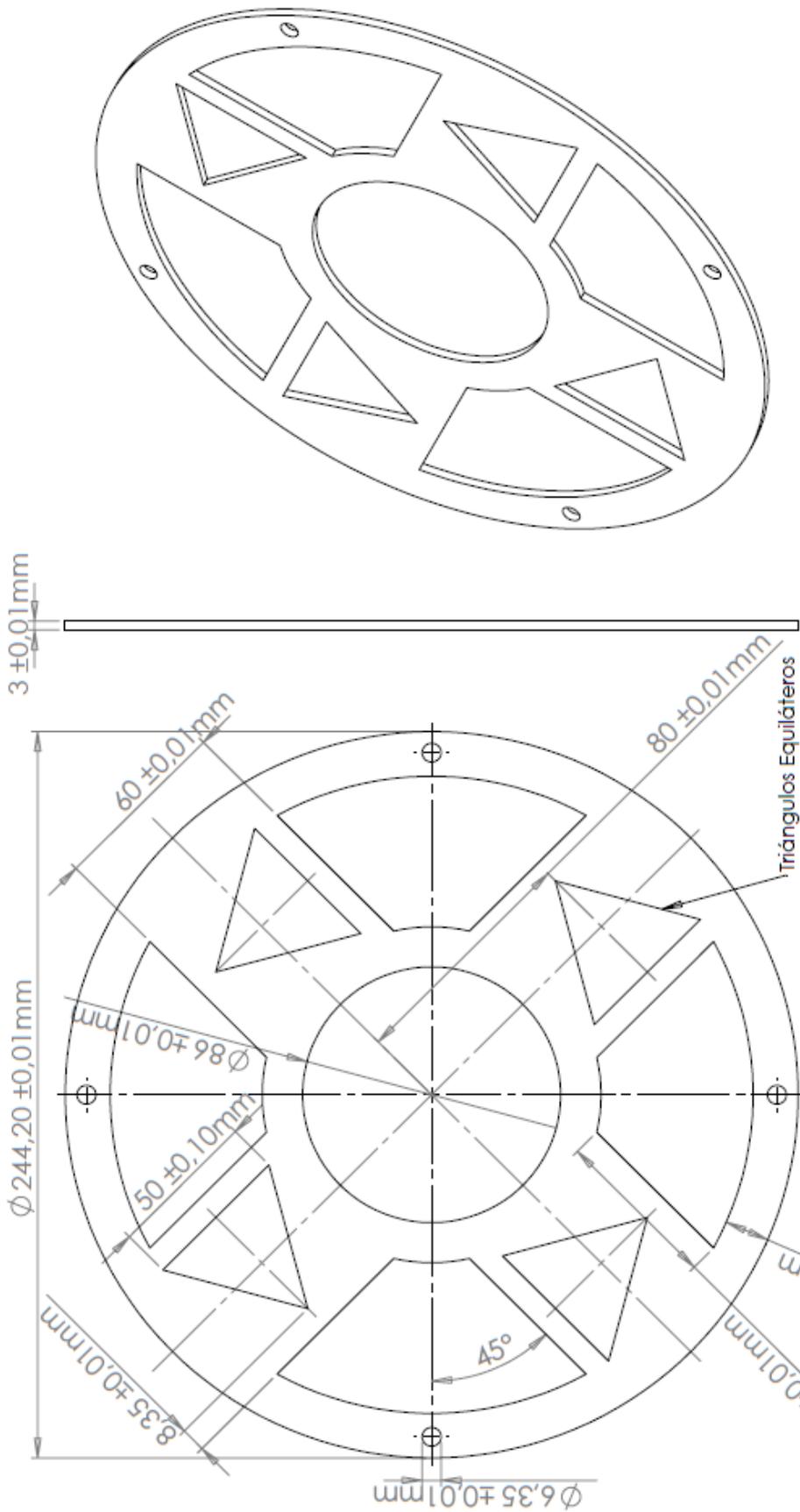
Planos de las Piezas que Conforman la Unidad

La incubadora está compuesta de elementos los cuales se arman y desarman en casi su totalidad permitiendo la limpieza y el fácil mantenimiento. Cada uno de estos elementos fue diseñado, y se presentan a continuación sus planos y medidas exactas.

Vista Superior

Vista Lateral

Vista Isométrica

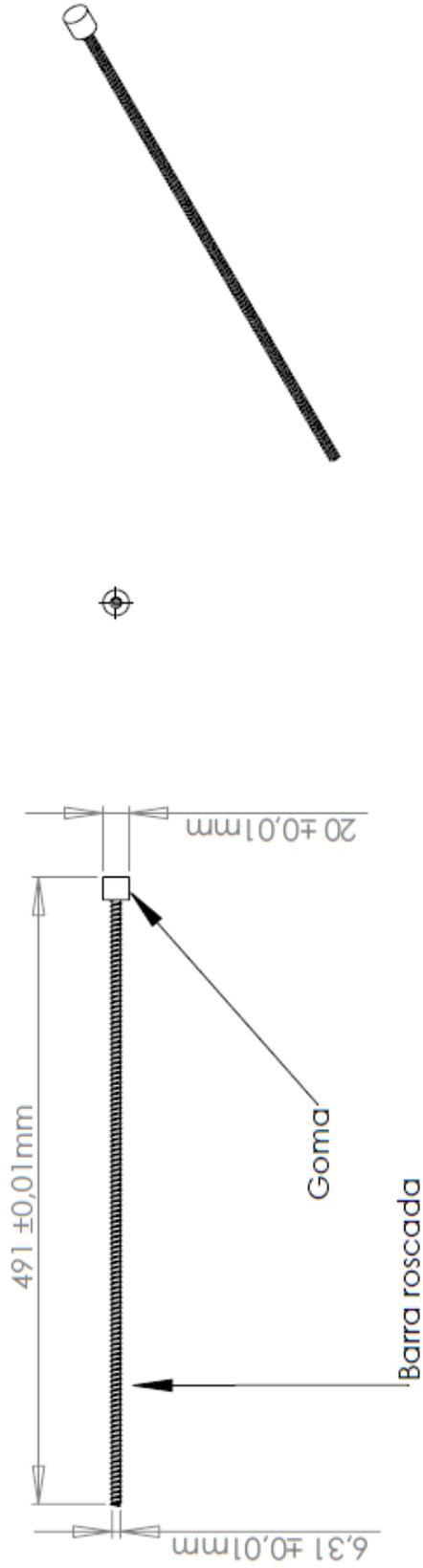


| | | | |
|--|--|-------------------------|--------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | DATE |
| DIMENSIONS ARE IN INCHES | | | |
| TOLERANCES: | | | |
| FRACTIONAL ± | | | |
| ANGULAR: MACH ± BEND ± | | | |
| TWO PLACE DECIMAL ± | | | |
| THREE PLACE DECIMAL ± | | | |
| INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: | | | |
| MATERIAL | | | |
| FINISH | | | |
| NEXT ASSY | | | |
| USED ON | | | |
| APPLICATION | | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | | | |
| <p>PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.</p> | | | |
| TITLE: | | Bandeja_Huevos_Maqueta2 | |
| SIZE | | DWG. NO. | REV |
| SCALE: 1:2 | | WEIGHT: | SHEET 1 OF 1 |

Vista Lateral

Vista Superior

Vista Isometrica



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | DRAWN | NAME | DATE |
|--------------------------------------|---------|-----------|------|------|
| DIMENSIONS ARE IN INCHES | | | | |
| TOLERANCES: | | ENG APPR. | | |
| FRACTIONAL: 1/16 | | MFG APPR. | | |
| ANGULAR: MACH 1 | | G.A. | | |
| BEND: 1 | | COMMENTS: | | |
| TWO PLACE DECIMAL: 1 | | | | |
| THREE PLACE DECIMAL: 1 | | | | |
| INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: | | | | |
| MATERIAL | | | | |
| FINISH | | | | |
| INERT ASSY | USED ON | | | |
| APPLICATION | | | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | | | | |

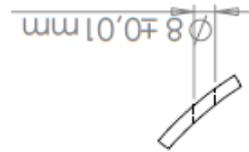
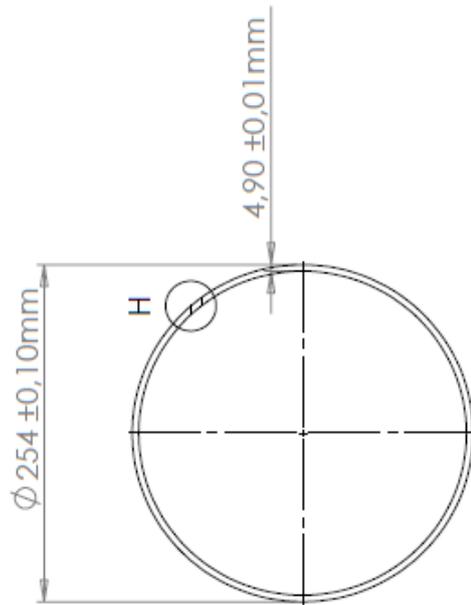
Barras_Roscadas_Maqueta_Construir

SIZE DWG. NO. REV

A

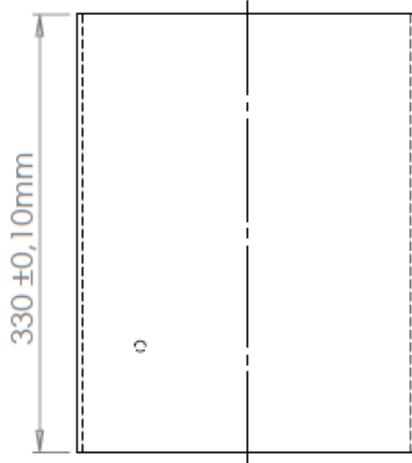
SCALE: 1:5 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

Vista Superior



DETALLE H
ESCALA 2 : 5

Vista Lateral



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS
DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
<INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY
REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
<INSERT COMPANY NAME HERE> IS
PROHIBITED.

| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | DATE |
|---|-----------------------|------|------|
| DIMENSIONS ARE IN mm | DRAWN | | |
| TOLERANCES: | CHECKED | | |
| FRACTIONAL: | ENG APPR. | | |
| ANGULAR: MACH ± BEND ± | MFG APPR. | | |
| TWO PLACE DECIMAL ± | G.A. | | |
| THREE PLACE DECIMAL ± | COMMENTS: | | |
| INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: | | | |
| MATERIAL PVC | Cilindro Hueco | | |
| FINISH | | | |
| NEXT ASSY | USED ON | | |
| APPLICATION | DO NOT SCALE DRAWING | | |

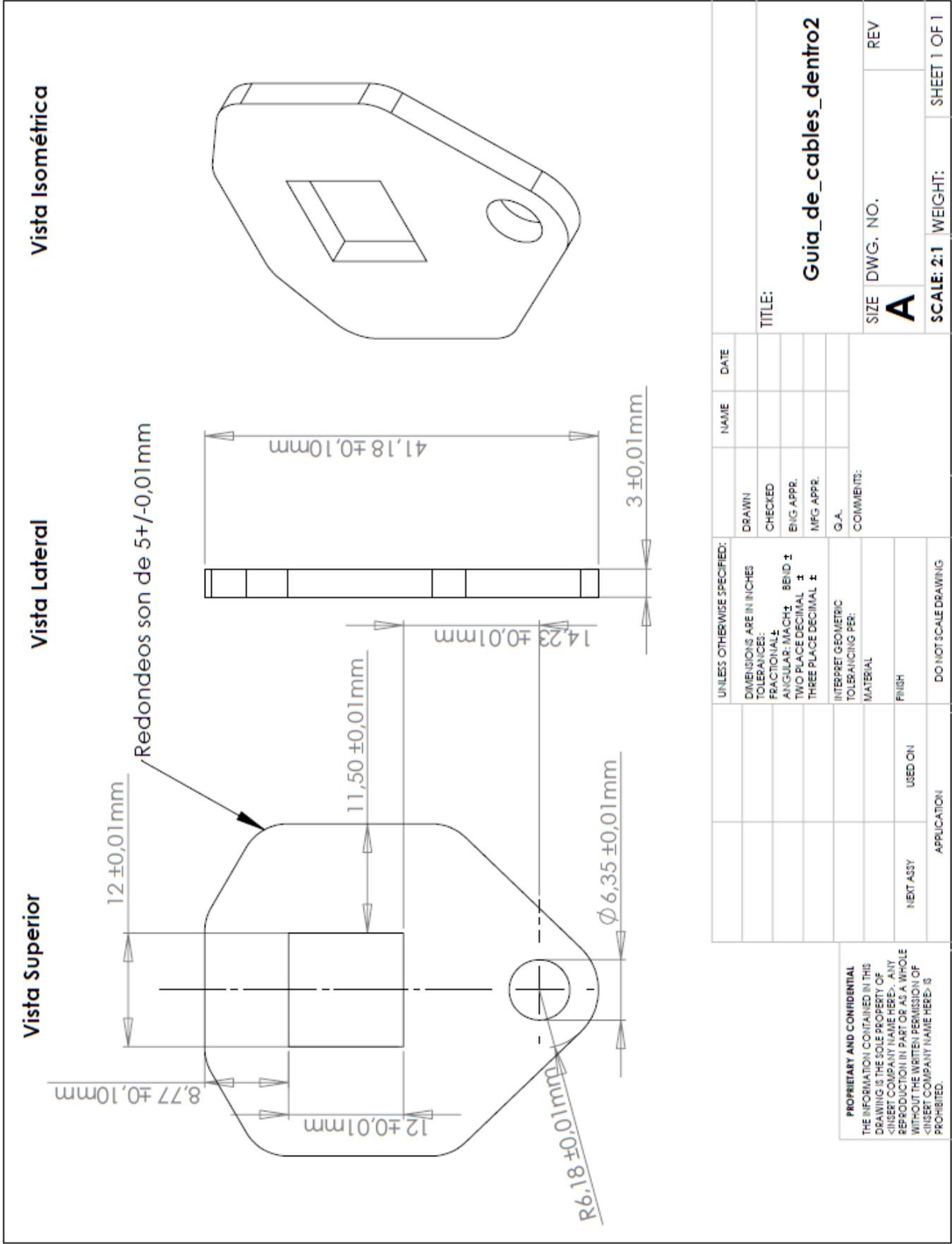
TITLE:

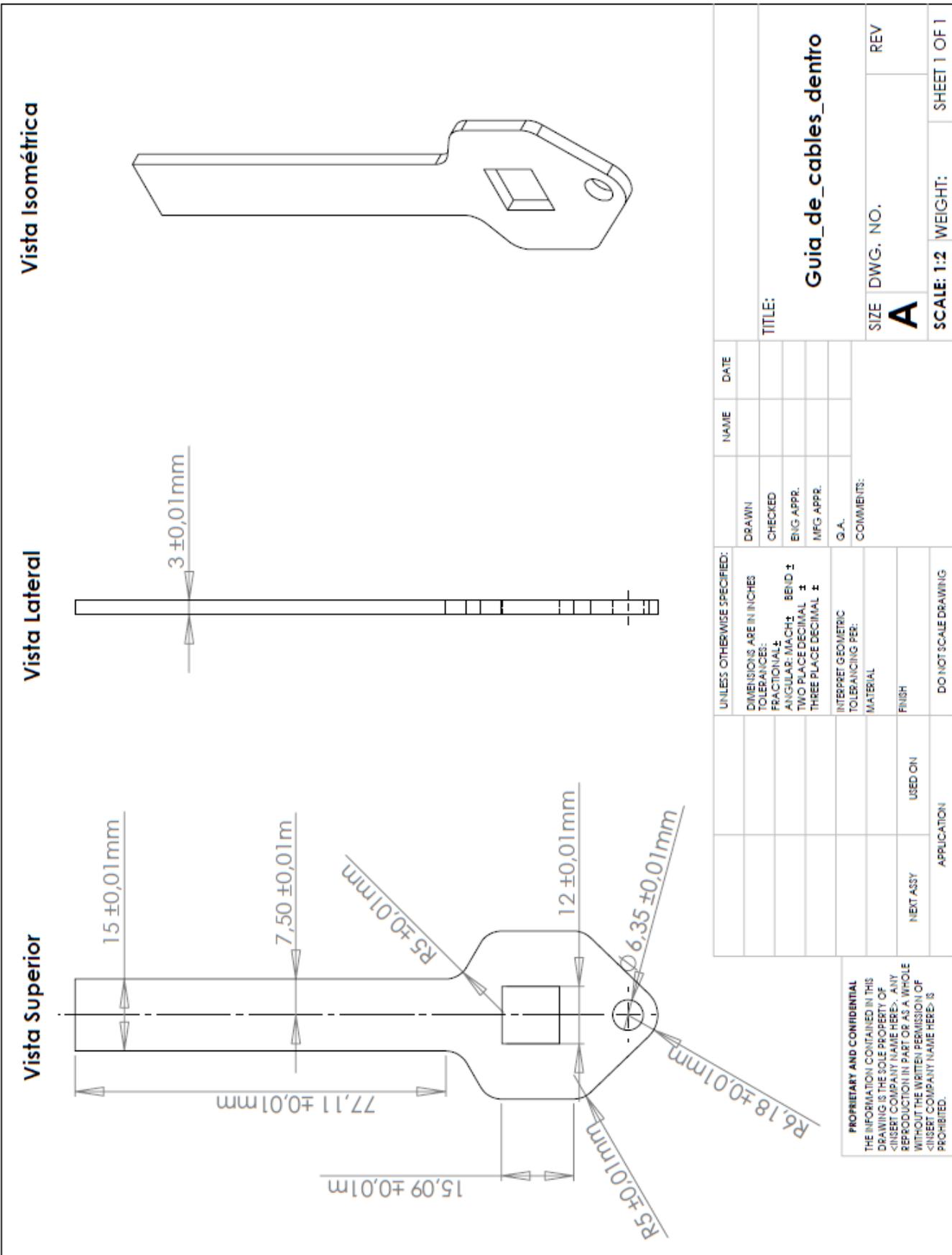
Cilindro_Exterior_Maqueta_Construir

SIZE DWG. NO. REV

A

SCALE: 1:10 WEIGHT: SHEET 1 OF 1





Vista Superior

Vista Lateral

Vista Isométrica

| | | | |
|-----------------------------|---------|------|------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | DATE |
| DIMENSIONS ARE IN INCHES | | | |
| TOLERANCES: | | | |
| FRACTIONAL: | | | |
| ANGULAR: MACH: BEND ± | | | |
| TWO PLACE DECIMAL ± | | | |
| THREE PLACE DECIMAL ± | | | |
| INTERPRET GEOMETRIC | | | |
| TOLERANCING PER: | | | |
| MATERIAL: | | | |
| FINISH: | | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | | | |
| APPLICATION | USED ON | | |
| NEXT ASSY | | | |

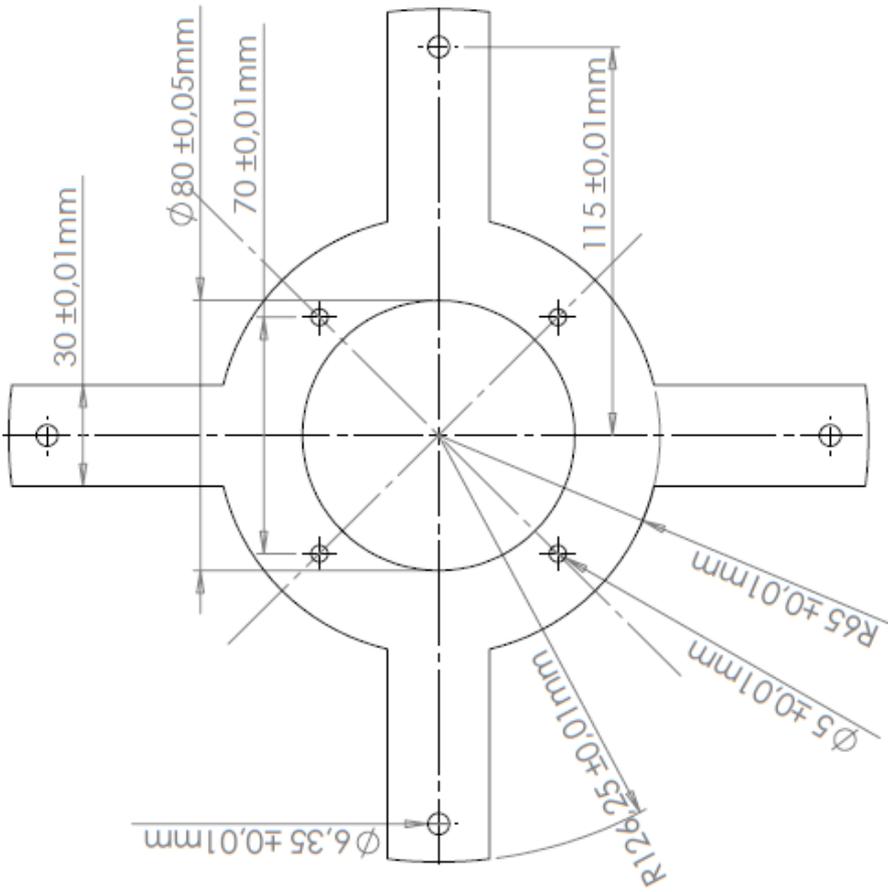
TITLE: **Guia_de_cables_dentro**

SIZE: **A** DWG. NO. REV

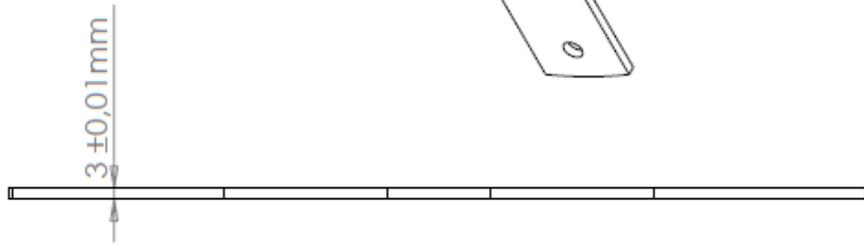
SCALE: 1:2 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

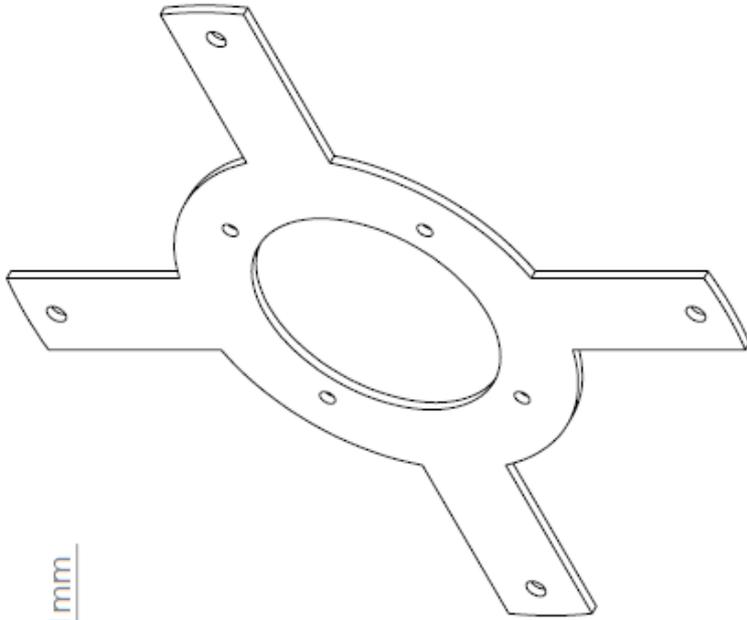
Vista inferior



Vista lateral



Proyección Isométrica



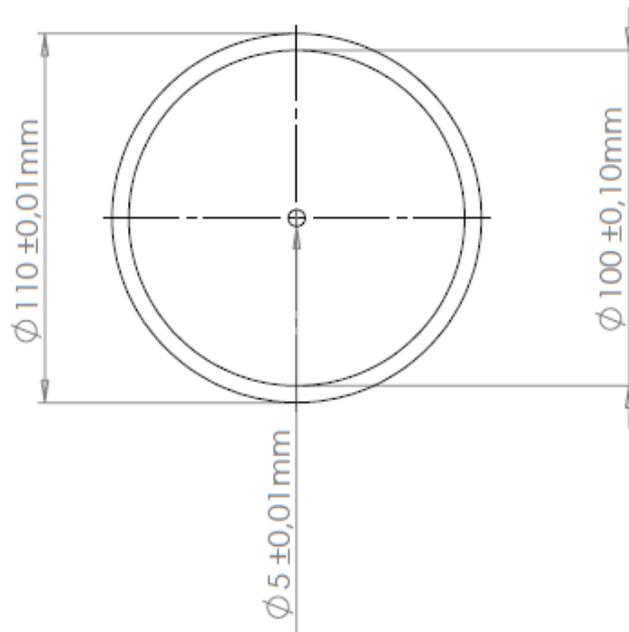
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

| | | | | | |
|--------------------------------------|------------|----------------------|--|--------------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | | DATE | |
| DIMENSIONS ARE IN INCHES | DRAWN | | | | |
| TOLERANCES: | CHECKED | | | | |
| FRACTIONAL: ± | ENG. APPR. | | | | |
| ANGULAR: MACH: ± BEND: ± | MFG APPR. | | | | |
| TWO PLACE DECIMAL ± | G.A. | | | | |
| THREE PLACE DECIMAL ± | COMMENTS: | | | | |
| INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: | | | | | |
| MATERIAL: | | | | | |
| FINISH: | | | | | |
| NEXT ASSY | USED ON | | | | |
| APPLICATION | | DO NOT SCALE DRAWING | | SCALE: 1:2 WEIGHT: | |
| 4 | | 3 | | 2 | |
| 5 | | 1 | | SHEET 1 OF 1 | |

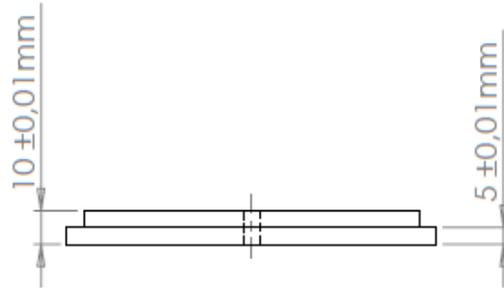
Soporte_Ventilador

SIZE DWG. NO. REV
A

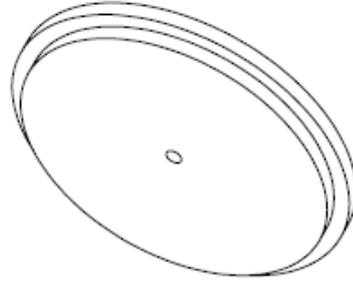
Vista Inferior



Vista Lateral



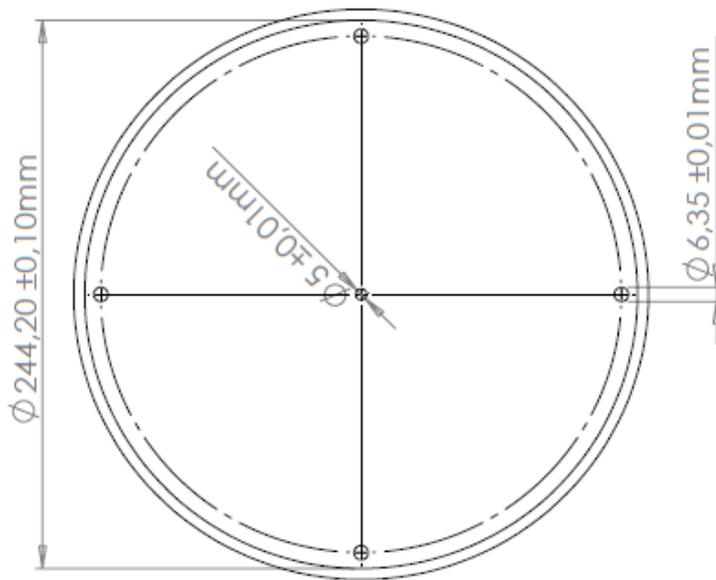
Vista Isométrica



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
 <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
 <INSERT COMPANY NAME HERE> IS
 PROHIBITED.

| | | | | | |
|-----------------------------|--|----------------------|--|------------------------------|--|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | | DATE | |
| DIMENSIONS ARE IN INCHES | | DRAWN | | | |
| TOLERANCES: | | CHECKED | | | |
| FRACTIONAL: | | ENG APPR. | | | |
| ANGULAR: MACH: BEND: ± | | MFG APPR. | | | |
| TWO PLACE DECIMAL ± | | G.A. | | | |
| THREE PLACE DECIMAL ± | | COMMENTS: | | | |
| INTERPRET GEOMETRIC | | SIZE | | DWG. NO. | |
| TOLERANCING PER: | | A | | REV | |
| MATERIAL | | TITLE: | | SubTapa_Arriba_Maqueta_Final | |
| FINISH | | SCALE: 1:2 | | WEIGHT: | |
| NEXT ASSY | | USED ON | | SHEET 1 OF 1 | |
| APPLICATION | | DO NOT SCALE DRAWING | | 1 | |

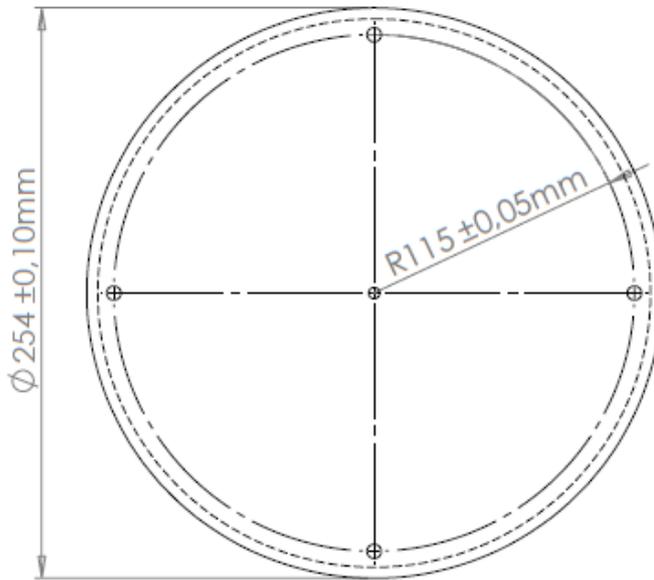
Vista Inferior



Vista Lateral



Vista Superior



PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS
 DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF
 <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY
 REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE
 WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF
 <INSERT COMPANY NAME HERE> IS
 PROHIBITED.

Tapa_Abajo_Construir

| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: | | NAME | DATE |
|-----------------------------|-----------|------|------|
| DIMENSIONS ARE IN mm | DRAWN | | |
| TOLERANCES: | CHECKED | | |
| FRACTIONAL ± | ENG APPR. | | |
| ANGULAR: MACH ± | MFG APPR. | | |
| TWO PLACE DECIMAL ± | G.A. | | |
| THREE PLACE DECIMAL ± | COMMENTS: | | |
| INTERPRET GEOMETRIC | | | |
| TOLERANCING PER: | | | |
| MATERIAL | | | |
| FINISH | | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | | | |
| APPLICATION | | | |
| NEXT ASSY | USED ON | | |

SIZE DWG. NO. REV

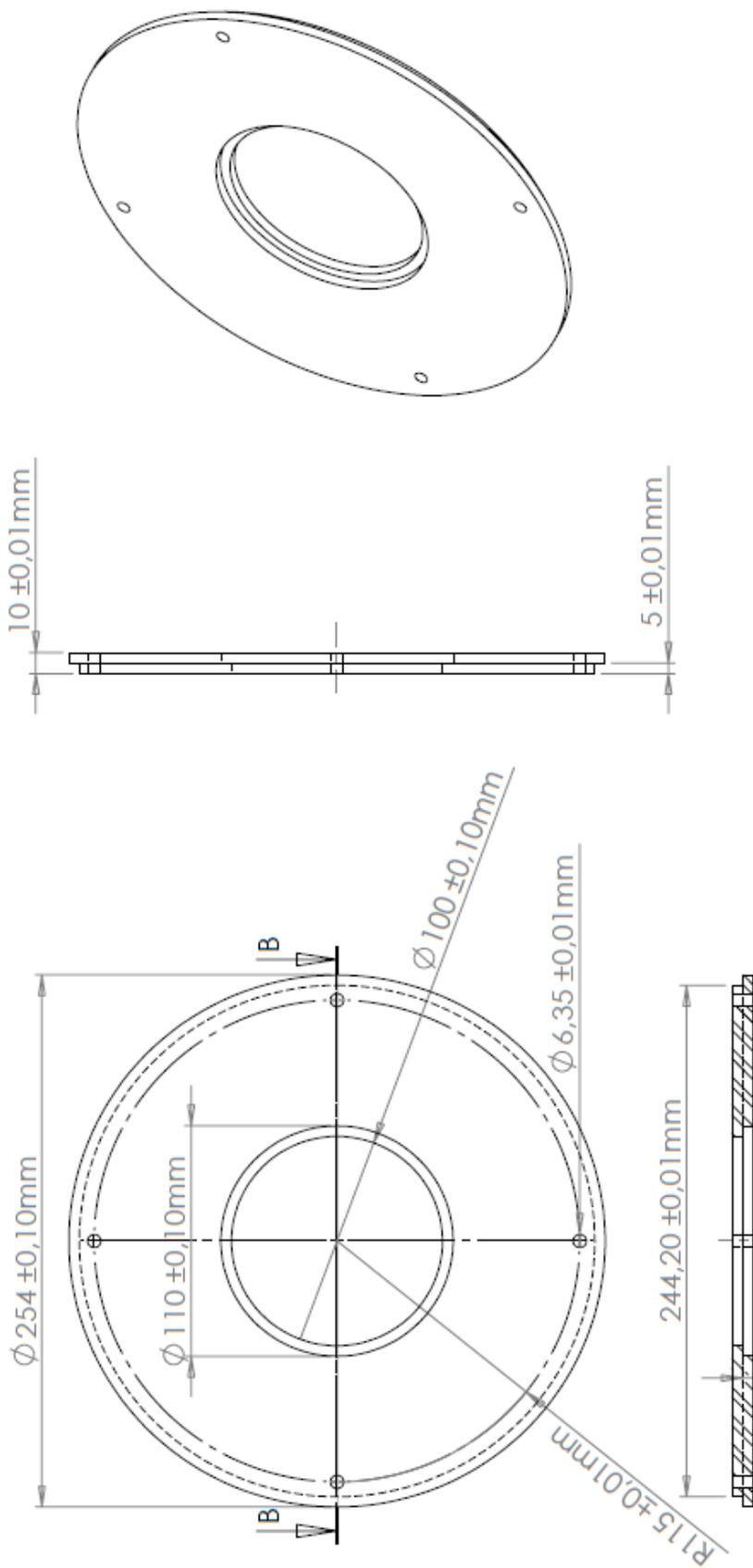
A

SCALE: 1:3 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

Vista Superior

Vista Lateral

Vista Isométrica



SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 3

5 ± 0.01 mm

| | | | | |
|--|-----------|-----------|------|------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ± ANGULAR: MACH ± BEND ± TWO PLACE DECIMAL ± THREE PLACE DECIMAL ± | | DRAWN | NAME | DATE |
| INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL | COMMENTS: | CHECKED | | |
| FINISH | | ENG APPR. | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | | MFG APPR. | | |
| APPLICATION | | G.A. | | |
| USED ON | | | | |
| NEXT ASSY | | | | |

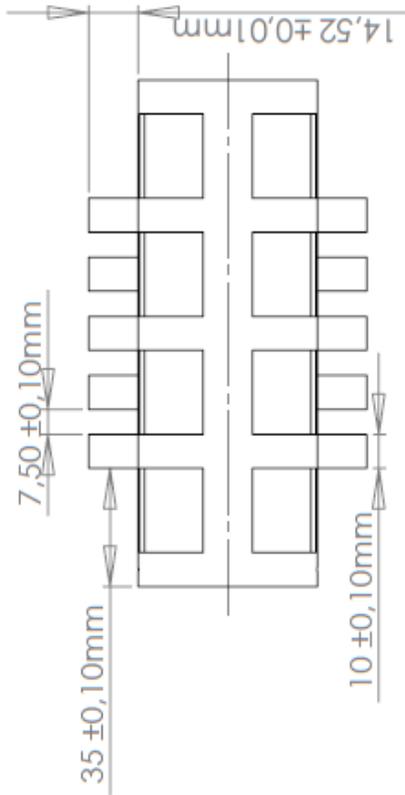
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

TITLE:
Tapa_Arriba_Maqueta_Construir_Final

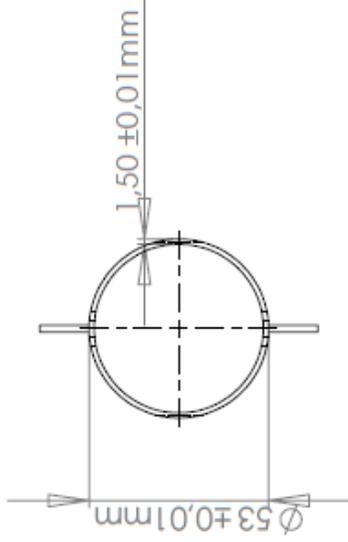
SIZE DWG. NO. REV
A

SCALE: 1:3 WEIGHT: SHEET 1 OF 1

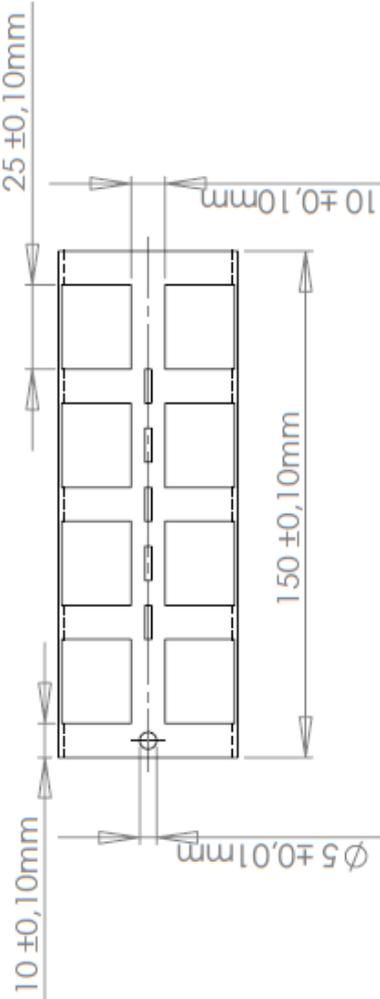
Vista Frontal



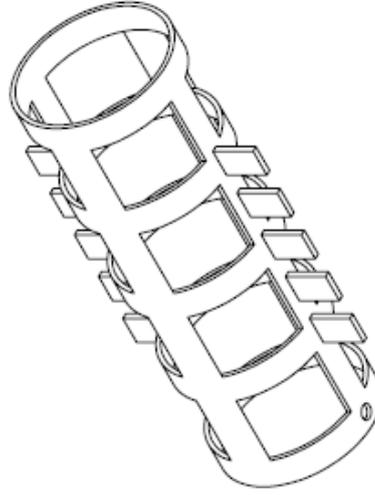
Vista Superior



Vista Lateral



Vista Isométrica



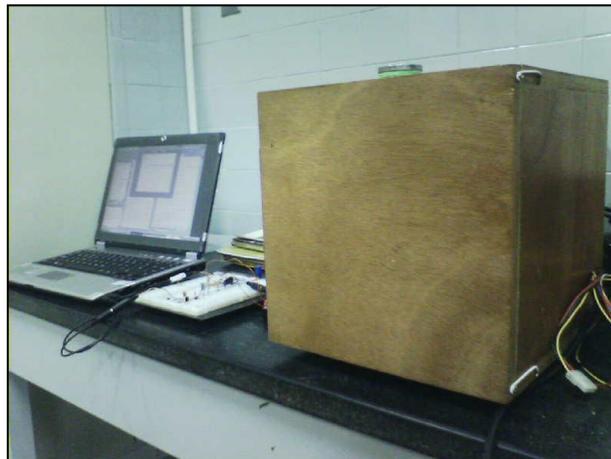
PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL
 THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS THE SOLE PROPERTY OF <INSERT COMPANY NAME HERE>. ANY REPRODUCTION IN PART OR AS A WHOLE WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF <INSERT COMPANY NAME HERE> IS PROHIBITED.

| | | | | |
|---|---------|--------------------------|----------|----------------------|
| UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ± ANGULAR: MACH: BEND ± TWO PLACE DECIMAL ± THREE PLACE DECIMAL ± | | DRAWN | NAME | DATE |
| INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER: MATERIAL | FINISH | CHECKED | | |
| DO NOT SCALE DRAWING | USED ON | ENG APPR. | | |
| | | MFG APPR. | | |
| | | G.A. | | |
| | | COMMENTS: | | |
| NEXT ASSY | | TITLE: | | |
| APPLICATION | | Tube_ Resistencia | | |
| | | SIZE | DWG. NO. | REV |
| | | A | | |
| | | SCALE: 1:2 | | WEIGHT: SHEET 1 OF 1 |

[ANEXO 8]

Fotos de las Maquetas y Prototipos Realizados

Se muestran algunas imágenes de las maquetas y prototipos construidos, para llegar a la incubadora para el estudio en embriones de pollo.



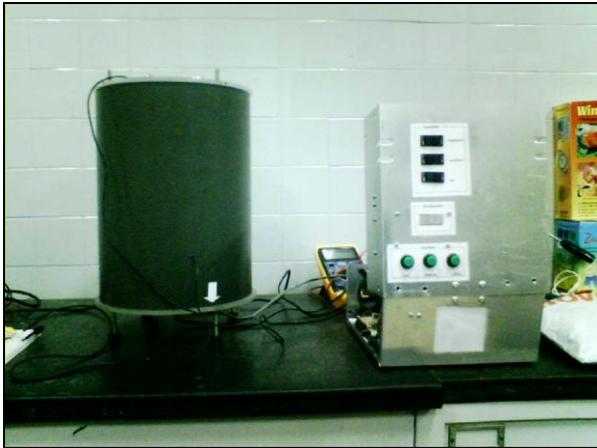
Maqueta con caja de madera



Maqueta con caja de acrílico



Maqueta con tubo de PVC

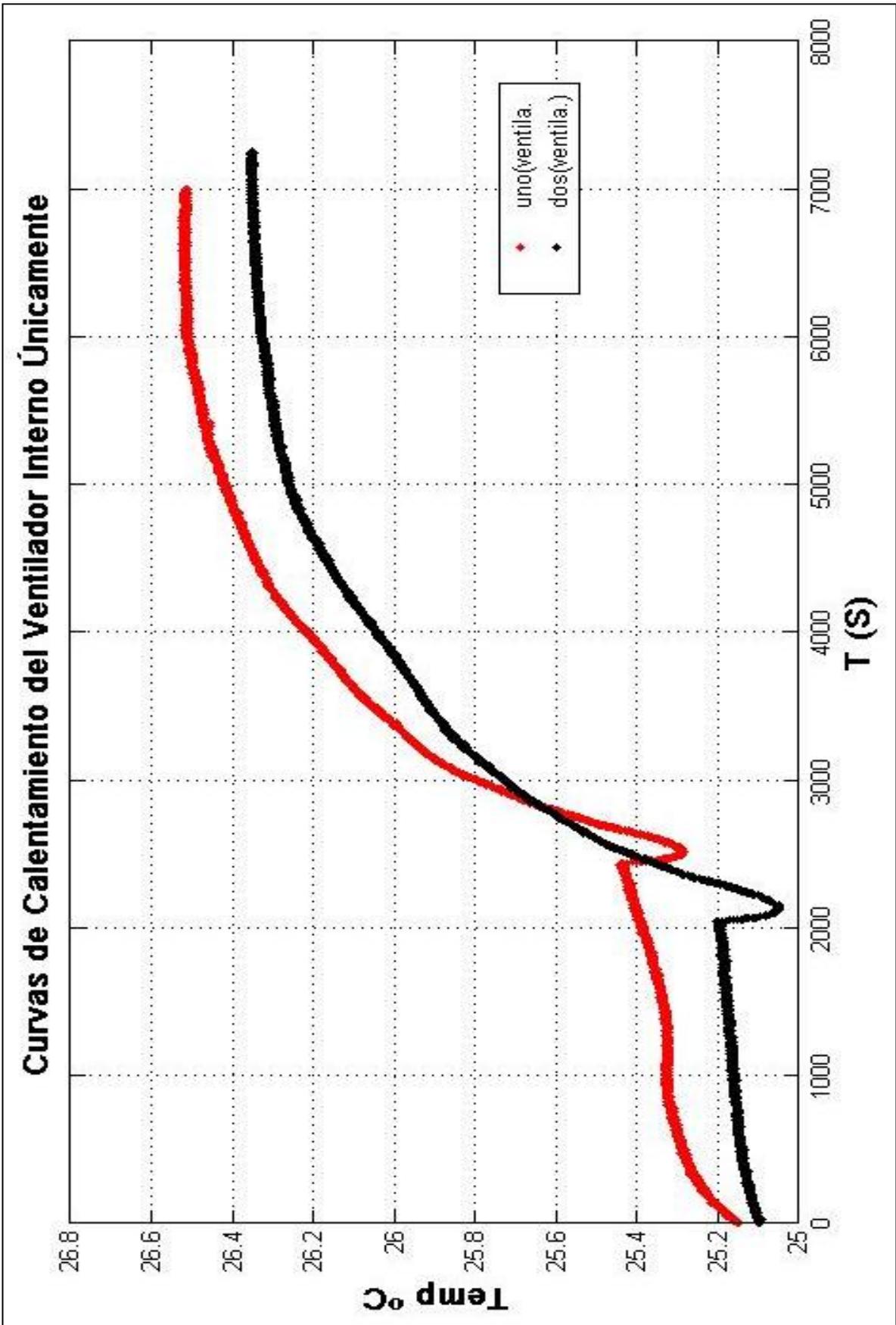


Maqueta con tubo de PVC Final.

[ANEXO 9]

Curvas de Calentamiento del Ventilador Interno

Se muestra a continuación dos de las curvas de típicas de calentamiento del ventilador interno únicamente. Ambas comenzadas desde la temperatura ambiente. Se puede notar que en el momento de encendido del ventilador la temperatura disminuye un poco para luego incrementarse debido al calor que disipa este elemento en su funcionamiento. El aumento de la temperatura que provoca en el interior de la unidad no es apreciable comparable con el que provoca el elemento resistivo.



[ANEXO 10]

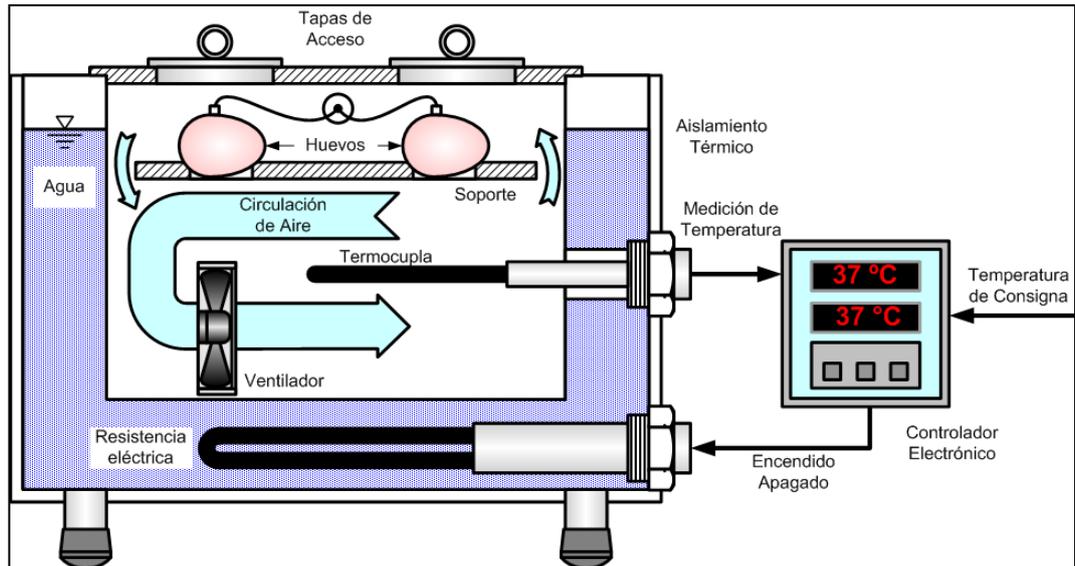
Incubadora del Laboratorio

Se tiene inicialmente en el laboratorio, un equipo con las siguientes características entre otras (ver figuras siguientes):

- Sistema de control de la temperatura con un error muy elevado.
- Ausencia de un sistema para el control pasivo humedad relativa.
- Los cambios dentro del laboratorio y la apertura y cierre de las cubiertas en la incubadora, afectan de manera directa y pronunciada la temperatura dentro de la misma.



Carcasa o estructura de la incubadora del laboratorio.



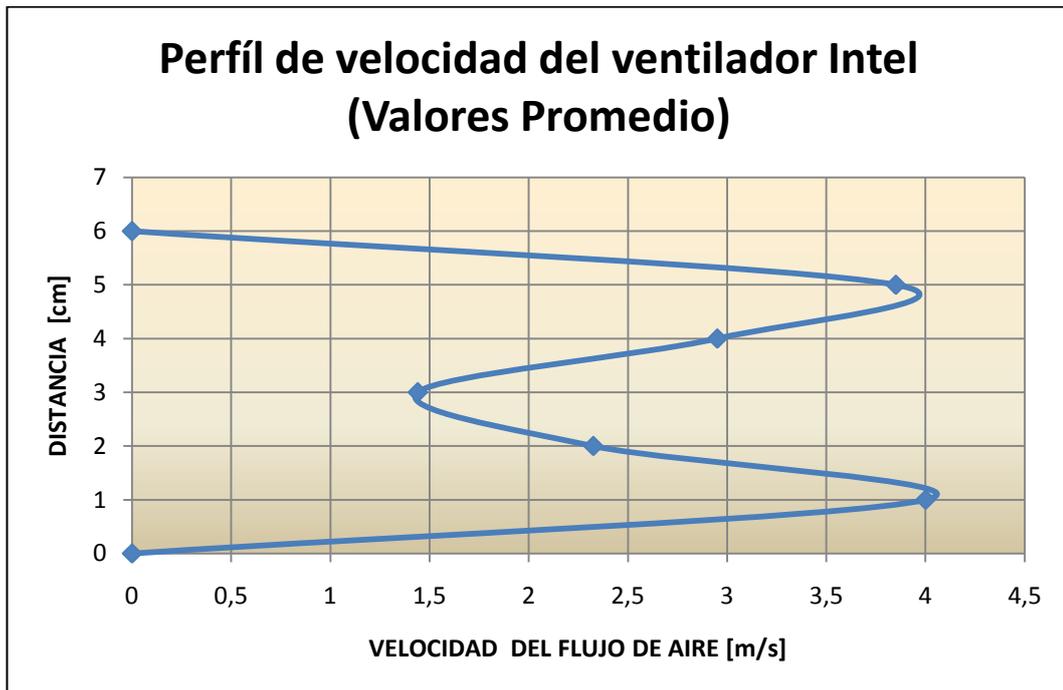
Basados en las limitaciones y condiciones del equipo que existe inicialmente en el laboratorio, se requiere lo siguiente:

- Un sistema de control activo de la temperatura, que solvete el grado de error en la medición de la misma. Que puede responder de manera adecuada a los cambios ambientales que se dan fuera del seno de la incubadora.
- Un control pasivo de la humedad relativa dentro del equipo.
- La construcción de una incubadora de bajo costo y mantenimiento.
- Acceso para mediciones acústicas, eléctricas y de video.

[ANEXO 11]

Perfil de Velocidad del Flujo Producido por el Ventilador Interno

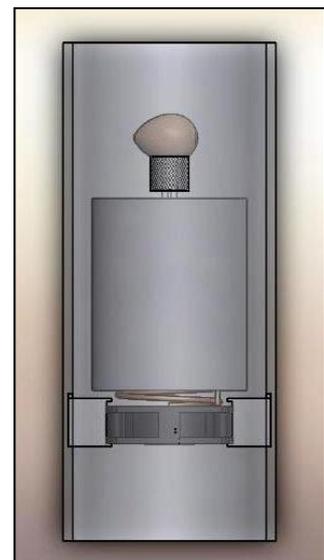
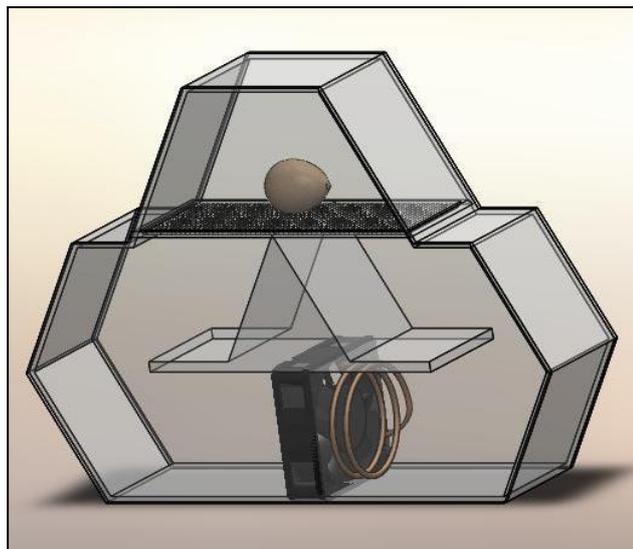
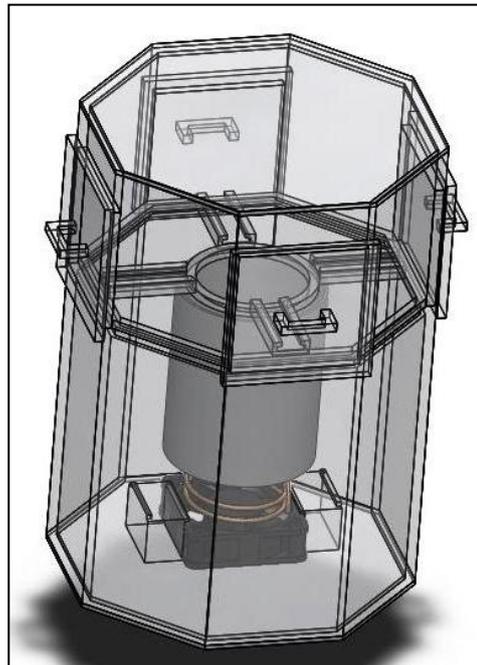
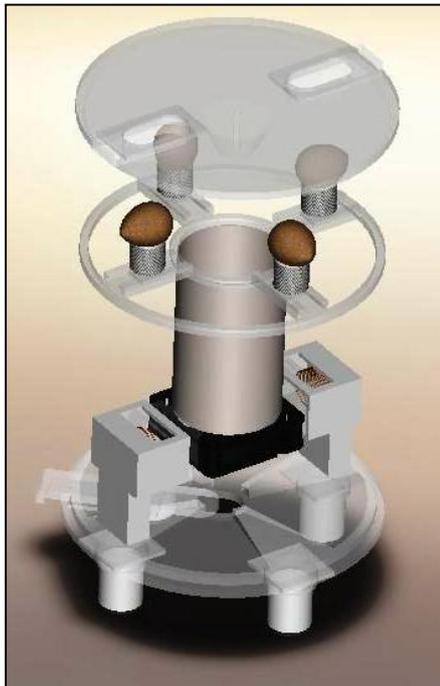
Nótese que el flujo es no desarrollado para las circunstancias del ensayo, pero es representativo y demostrativo de las condiciones que se tienen dentro del cilindro central de la unidad.

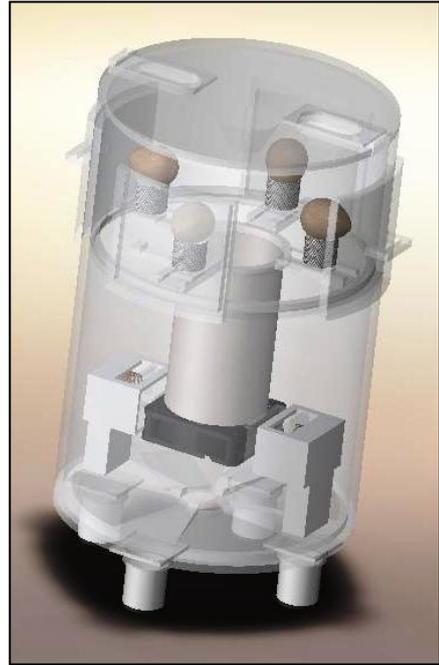
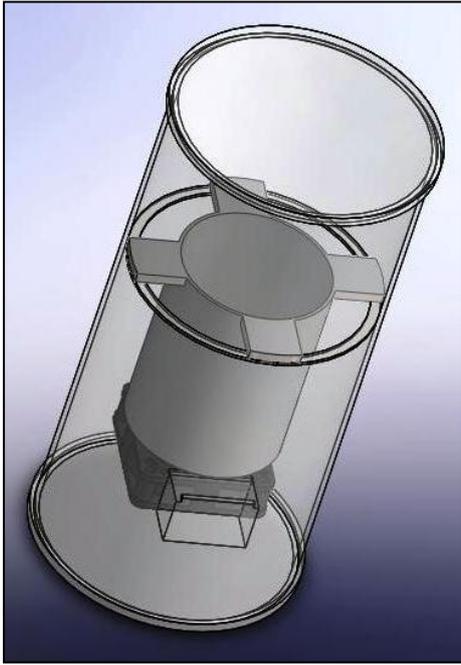


[ANEXO 12]

Representación en 3D de Bosquejos

Muchas de las ideas y bocetos que se tuvieron se representaron en tercera dimensión (3D), con la intención de tener una visión mayor al respecto de cómo quedaría una vez construida o llevada a la realidad, esa idea. A continuación se presentan algunas imágenes de estas representaciones. Al final estas ideas o representaciones fueron descartados, para quedarnos con el definitivo y el actual.





[ANEXO 13]

Algoritmos de Programación Usados en el Microcontrolador

A continuación están los códigos programados en el PIC (microcontrolador), para realizar las diferentes acciones de control. Por motivos de espacio y derechos de autor, se muestra sólo una parte de ellos.

Código On- Off

```
#include <16f876a.h>
#device ADC=10
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT
#use delay(clock=4000000)

//declaración de variables
INT segmentos[11] = { 0x3f, 0x6, 0x5b, 0x4f, 0x66, 0x6d,0x7};
FLOAT valor = 0x00, temp, sp, hg, lw, iacu, ti, r, OF;
LONG INT prdig, segdig, tcdig, a, j, m, d, k, c, b, tempdisp, t, spi;

VOID toma_adc(VOID){
    set_adc_channel (0);
    valor = read_adc ();}

//*****programa principal*****

VOID main(){
    output_c (0x0);
    set_tris_b (00000000);
    spi = (prdig * 100) + (segdig * 10) + tcdig;

    // Inicialización de Parámetros
    sp = spi / 10; // Valor de consigna (Set Point)
    d = 10; // Número de ms por cada delay
```

```

DO{
toma_adc ();
delay_ms (1);
c = 1 * 1000 / d;
tempdisp = 0.496 * valor + 100; // 0 V @ 10 C

```

```

//***** Accion de control on_off *****

```

```

temp = tempdisp / 10.0;

IF (temp < sp) {hg = c;}
IF (temp >= sp) {hg = 0;}
lw = c - hg; // porcentaje off

```

```

WHILE (0 < hg){
output_high (PIN_C3);
delay_ms (d);
hg = hg - 1;}

```

```

WHILE (0 < lw){
output_low (PIN_C3);
delay_ms (d);
lw = lw - 1;
}}WHILE(true);}

```

```

END;

```

Código Proporcional

```

#include <16f876a.h>
#device ADC=10
#fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT

```

```

#use delay(clock=4000000)

//declaración de variables
INT segmentos[11] = { 0x3f, 0x6, 0x5b, 0x4f, 0x66, 0x6d,0x7};
FLOAT valor = 0x00, temp, sp, hg, lw, iacu, ti, r, OF;
LONG INT prdig, segdig, tcdig, a, j, m, d, k, c, b, tempdisp, t, spi;

VOID toma_adc(VOID){
    set_adc_channel (0);
    valor = read_adc ();}

//*****programa principal*****
VOID main(){
    output_c (0x0);
    set_tris_b (00000000);
    spi = (prdig * 100) + (segdig * 10) + tcdig;

    // Inicialización de Parámetros
    sp = spi / 10; // Valor de consigna (Set Point)
    d = 10; // Número de ms por cada delay

    DO{
        toma_adc ();
        delay_ms (1);
        c = 1 * 1000 / d;
        tempdisp = 0.496 * valor + 100; // 0 V @ 10 C
//***** Accion de control Proporcional *****
        temp = tempdisp / 10.0;
        hg = c * (sp - temp) / r; //

        IF (hg < 0) {
            hg = 0}

```

```

IF (c < hg) {
    hg = c;
}

lw = c - hg;
WHILE (0 < hg){
    output_high (PIN_C3);
    delay_ms (d);
    hg = hg - 1;
}

WHILE (0 < lw){
    output_low (PIN_C3);
    delay_ms (d);
    lw = lw - 1;
    }}WHILE(true);}
} END;

```

Código Proporcional Integral

```

#include <16f876a.h>
#define ADC=10
#define fuses XT,NOWDT,NOPROTECT,NOLVP,PUT,BROWNOUT
#define use delay(clock=4000000)

//declaración de variables
INT segmentos[11] = { 0x3f, 0x6, 0x5b, 0x4f, 0x66, 0x6d,0x7};
FLOAT valor = 0x00, temp, sp, hg, lw, iacu, ti, r, OF;
LONG INT prdig, segdig, tcdig, a, j, m, d, k, c, b, tempdisp, t, spi;

VOID toma_adc(VOID){

```

```

set_adc_channel (0);
valor = read_adc ();}

//*****programa principal*****

VOID main(){
    output_c (0x0);
    set_tris_b (00000000);
    spi = (prdig * 100) + (segdig * 10) + tcdig;

    // Inicialización de Parámetros
    sp = spi / 10; // Valor de consigna (Set Point)
    d = 10; // Número de ms por cada delay

    DO{
        toma_adc ();
        delay_ms (1);
        c = 1 * 1000 / d;
        tempdisp = 0.496 * valor + 100; // 0 V @ 10 C
//***** Accion de control Proporcional_Integral *****
        temp = tempdisp / 10.0;
        iacu = iacu + 10*(sp - temp);

        hg = (c * (sp - temp) / r) + ki*iacu;

    IF (hg < 0) {
        hg = 0;}

    IF (c < hg) {
        hg = c; }

    lw = c - hg;

```

```
WHILE (0 < hg){  
    output_high (PIN_C3);  
    delay_ms (d);  
    hg = hg - 1;}  
  
WHILE (0 < lw){  
    output_low (PIN_C3);  
    delay_ms (d);  
    lw = lw - 1;  
}  
  
}WHILE(true);  
}END;
```

[ANEXO 14]

Presupuesto Para la Construcción

En pro de lograr la construcción de la incubadora, basados en las necesidades que se fueron generando a lo largo del desarrollo del proyecto, se hizo necesaria realizar una investigación del mercado a nivel local. Muchos materiales, elementos y componentes se precisaron. Para poder adquirirlos, se procedió a indagar en muchas de las diferentes casas comerciales de materiales o distribuidoras, contactando de esta manera con casas de componentes eléctricos, distribuidoras de tuberías, ferreterías, comercios y vendedores de plexiglás (acrílico), entre otros, con el fin de ubicar los mejores precios y los materiales requeridos. Se encontraron muchas limitantes en cuanto a la disponibilidad de diversos materiales y piezas en la localidad, lo que generó la deducción de nuevos diseños y la búsqueda de componentes alternativos para el logro de los objetivos.

Presupuesto General del Proyecto

Luego que se ha trabajado en el diseño, se procede con la construcción y ensamble de los diferentes prototipos necesarios, además de cualquier otro detalle que pueda generarse. Se presenta a continuación el plan financiero de acción integrada, llevado a cabo para el logro de los objetivos y las metas del proyecto, el cual se deriva de la ejecución de los estudios realizados. En el mismo se mostrarán los aspectos importantes, como los distintos recursos y suministros que se demandaron para realizar este trabajo, a objeto de dar cuenta en forma aproximada, la magnitud de los gastos y costos que se necesitan para ejecutar un proyecto de esta envergadura.

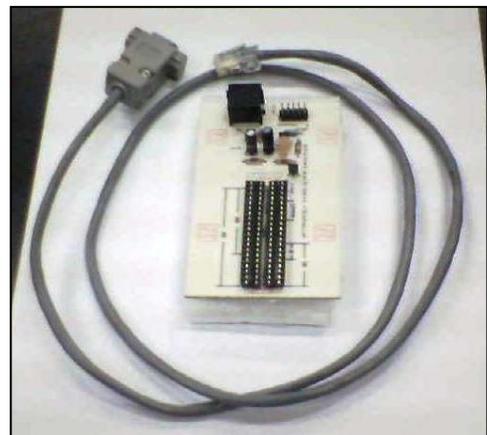
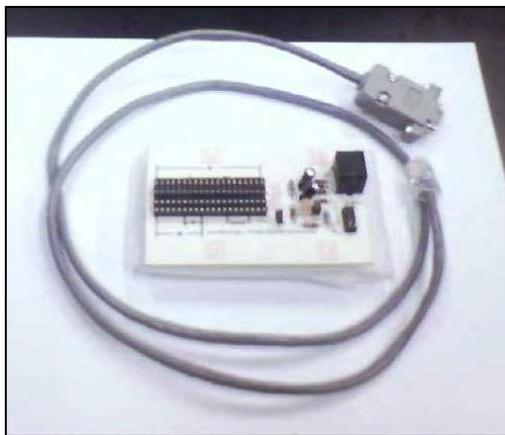
A continuación la tabla de piezas y elementos. En la misma no está todo lo que se adquirió, lo referenciado es con intención de dar idea de la dimensión de la inversión que se realizó para la construcción de la unidad.

Los precios ya incluyen IVA (Impuesto al Valor Agregado), y están redondeados:

| Cliente Laboratorio Anatómico UCV Nombre: _____ Ciudad: <u>Caracas</u> _____ Dirección: <u>Chaguaramos</u> Estado: <u>Distrito Federal</u> Teléfono: _____ | | Detalles Fecha: _____ Otros: _____ _____ _____ _____ | |
|---|----------|--|--------------|
| Pieza/Componente | Cantidad | Precio Unitario (Bs.F) | Precio Total |
| Resistencia Secador | 1 | 60 | 60 |
| Transformador 115/30 Vac.3,2 ^a | 1 | 100 | 100 |
| Lámina de acrílico 30x30cm, esp. 10mm | 2 | 179,5 | 359 |
| Lámina de acrílico 30x30cm, esp. 10mm | 1 | 120 | 120 |
| Lámina de acrílico 20x20cm, esp. 10mm | 1 | 260 | 260 |
| Lámina de acrílico 30x30cm, esp. 10mm | 2 | 70 | 140 |
| Tubería PVC 3m, esp. 5mm | 1 | 170 | 170 |
| Caja Metálica | 1 | 73 | 73 |
| Otros | | | 600 |
| | | TOTAL | 1882 |

[ANEXO 15]
Programador Serial Para PIC

Dispositivo para descargar los códigos y configurar el microcontrolador (PIC 16F876). Este dispositivo es del tipo JDM y con interface para puerto serial. A continuación algunas imágenes.



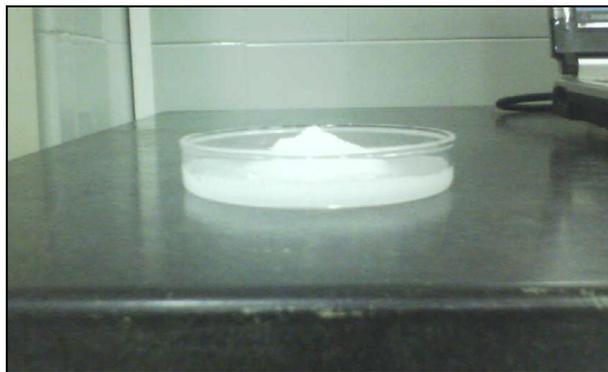
[ANEXO 16]

Experimentación Control Pasivo de la Humedad Relativa

Se utilizó la sal de cloruro de sodio, para el control de la humedad dentro de la unidad. Para medirla se utilizó un higrómetro Fisher Scientific, el cual también permite realizar mediciones de temperatura. Por la forma de higrómetro este fue colocado dentro de la unidad en determinados momentos, para verificar el porcentaje de la humedad relativa dentro de la incubadora



Higrómetro



Sal Saturada

[ANEXO 17]

Manual del Equipo o Guía del Usuario

En las próximas páginas, se encuentra el manual de usuario que fue creado para la unidad.