

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE
CÁMARA CLIMÁTICA PARA FOMENTAR LA AUTONOMÍA EN LA
CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS DE LAS EMPRESAS
PRESTADORAS DE SALUD DEL AREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA.

EDWARD FABIAN ARDILA RUIZ
IVAN ANDRES LOZANO ARENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE
CÁMARA CLIMÁTICA PARA FOMENTAR LA AUTONOMÍA EN LA
CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS DE LAS EMPRESAS
PRESTADORAS DE SALUD DEL AREA METROPOLITANA DE
BUCARAMANGA.

EDWARD FABIAN ARDILA RUIZ
IVAN ANDRES LOZANO ARENAS

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Mecánico

Director:
OMAR ARMANDO GELVEZ AROCHA
Magister en informática

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2021

DEDICATORIA

Dedico este logro a Claudia Janeth y German Lozano mis padres, por el apoyo moral y acompañamiento durante estos años de forma incondicional.

A mi hermanita Lis que desde la distancia siempre encontró la forma de estar presente.

A mi segunda mamá Nelly que gracias a su crianza, afecto y valores hoy es posible la consecución de este logro.

A mis abuelitas Azucena y Edilia que siempre me han consentido.

A Fernando Arenas por sus consejos.

A Janeth Pabón que hoy después de tanto tiempo tiene a su ingeniero.

A la familia Ardila Ruiz que sin dudarlo me han adoptado y hecho sentir como un integrante más, hoy la considero su casa como mi segundo hogar.

A María Camila Becerra por ser mi acompañante y apoyo, durante días y noches interminables de estudio, infinitamente agradecido por nunca dudar de mí y convencerme de continuar aun cuando ni yo estaba seguro de lograrlo.

Ivan Andres Lozano Arenas

Este pequeño logro que ha tomado tanto esfuerzo, ha estado acompañado de personas que han intervenido en cada uno de mis procesos de manera directa o indirecta, dedicar esta nueva meta a las personas que han estado a mi lado apoyándome para nunca desfallecer, su compañía es indescriptible. Ser el menor en una familia llena de mujeres me ha enseñado a valorarlas y a confiarles plenamente, el apoyo recibido de cada una de mis hermanas ha sido fundamental en este proceso.

En cada paso que doy están presentes mis sobrinos, dejarles un legado con el cual ellos puedan motivarse y superarse cada día me enorgullece enormemente.

A mi novia, que me ha acompañado en todo este proceso, su apoyo ha sido incondicional en los buenos momentos y también en los no tan buenos.

Finalmente, como todo en la vida tiene una esencia y una base, la mía, sin duda alguna son mis padres, a ellos pertenece mi pasado, presente y futuro, por y para ellos es cada uno de los logros que pueda alcanzar en la vida, espero llenarlos de orgullo.

Edward Fabian Ardila Ruiz

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradecer al director de esta tesis Omar Gelvez Arocha por la dedicación y apoyo que ha brindado a este proyecto, sus ideas y recomendaciones fueron trascendentales para el desarrollo de la misma, pudimos expresar nuestras ideas recibiendo siempre una retroalimentación de la mejor forma.

De la misma manera, agradecer al señor Reinaldo Hernández quien presto las instalaciones de su taller de biomédica en el cual se pudo realizar la construcción y realización de pruebas del prototipo funcional, de su parte recibimos recomendaciones y aportes que nos fueron de gran ayuda para la ejecución del proyecto.

En este proceso también contamos con la ayuda de Ely, su colaboración y asesoramiento en la programación y control del dispositivo nos resultó de gran ayuda y enseñanza.

Al jefe del departamento de biomédica de la clínica FOSCAL ing. Harvey Quiroga, lastimosamente no pudo concretarse el convenio que se requería entre la universidad y la clínica por distintos motivos, sus aportes y requerimientos dieron bases y fundamentos para iniciar el camino en este proyecto, pese a las adversidades presentadas, esperamos que esta tesis pueda ser tomada en cuenta para lograr la autonomía total en la calibración de sus instrumentos de medida.

Finalmente agradecer a familiares, amigos y compañeros de carrera que de alguna forma u otra nos dieron aportes importantes y apoyo moral requerido para sacar adelante este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	17
1. OBJETIVOS.....	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. MARCO TEORICO	21
2.1 MARCO LEGAL-NORMATIVIDAD.....	21
2.2 ESTADO DEL ARTE.....	23
2.2.1 Antecedentes Internacionales.....	23
2.2.2 Antecedentes Nacionales.....	30
2.2.3 Antecedentes Locales.....	32
3. PROCESO DE DISEÑO	33
3.1 DISEÑO CONCEPTUAL	33
3.1.1 Requerimientos establecidos.....	33
3.1.2 Descripción del proceso de calibración	34
3.1.3 Jerarquía de requerimientos.....	34
3.1.4 Despliegue matriz QFD	35
3.1.5 Tipo de subsistemas.....	36
3.1.6 Planteamiento de alternativas.....	36
3.1.7 Evaluación de alternativas.....	38
3.1.8 Especificación de alternativa ganadora.....	39
3.2 DISEÑO EN DETALLE	41
3.2.1 Subsistema mecánico.....	42
3.2.2 Subsistema de refrigeración	45
3.2.3 Subsistema de calefacción.....	53
3.2.4 Subsistema de humidificación.....	60
3.2.5 Subsistema de deshumidificación.....	64
3.2.6 Subsistema de control.....	67

4.	CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO FUNCIONAL A ESCALA	72
4.1	ESTRUCTURA.....	72
4.2	REFRIGERACIÓN	73
4.3	CALEFACCIÓN.....	74
4.4	HUMIDIFICACIÓN	76
4.5	DESHUMIDIFICACIÓN	76
4.6	MONTAJE FINAL.....	77
5.	VIABILIDAD ECONOMICA DEL PROYECTO	78
6.	MANUAL DE INSTRUCCIONES Y FUNCIONAMIENTO	81
6.1	OBJETIVO.....	81
6.2	NORMAS DE SEGURIDAD	81
6.3	TÉRMINOS EMPLEADOS	81
6.4	SÍMBOLOS EMPLEADOS	82
6.5	SEGURIDAD DEL PRODUCTO Y RIESGOS	82
6.6	REQUISITOS Y OBSERVACIONES DEL PERSONAL OPERARIO	83
6.7	DATOS TÉCNICOS	83
6.8	CONDICIONES AMBIENTALES DE OPERACIÓN.....	83
6.9	TRANSPORTE E INSTALACIÓN	84
6.10	PUESTA EN MARCHA.....	84
6.11	FUNCIONAMIENTO Y MANEJO.....	85
6.12	CARGA DE LA CÁMARA CLIMÁTICA.....	85
6.13	AJUSTE DE PARÁMETROS	86
6.13.1	Teclas y funciones del controlador	86
6.14	FINALIZACIÓN DE OPERACIÓN.....	88
7.	PLAN DE MANTENIMIENTO	89
7.1	LIMPIEZA.....	89
7.2	LIMPIEZA DE MÓDULOS DE REFRIGERACIÓN PELTIER.....	89
7.3	TAREAS PERIÓDICAS DE MANTENIMIENTO	89
7.4	ANUALMENTE.....	90

8.	PRUEBAS Y RESULTADOS	91
8.1	PRUEBA DE TEMPERATURA EN LA MADRUGADA.....	92
8.2	PRUEBA DE HUMEDAD EN LA MADRUGADA	95
9.	SIMULACIÓN EXPERIMENTAL.....	98
9.1	APERTURAS NO PLANIFICADAS.....	99
9.1.1	Pruebas de temperatura	99
9.1.2	Pruebas de humedad	101
9.2	VARIACIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES	103
9.2.1	Prueba de temperatura a medio día.....	103
9.2.2	Pruebas de humedad a medio día.....	106
10.	CONCLUSIONES	108
11.	RECOMENDACIONES.....	109
	BIBLIOGRAFÍA.....	110

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Condiciones ambientales de Bucaramanga.	33
Cuadro 2. Matriz Qfd, Qué vs Cómo.....	35
Cuadro 3. Evaluación de alternativas.	36
Cuadro 4. Valores de relación entre los QUE y COMO.	38
Cuadro 5. Determinación de la alternativa ganadora.....	39
Cuadro 6. Elementos seleccionados.....	42
Cuadro 7. Carga térmica subsistema de refrigeración.....	46
Cuadro 8. Propiedades del vidrio.....	47
Cuadro 9. Coeficiente convección.	47
Cuadro 10. Propiedades del acero inoxidable (AISI 304).	48
Cuadro 11. Propiedades del poliuretano expandido.	49
Cuadro 12. Calores estimados para elevar temperatura.	54
Cuadro 13. Condiciones de puntos extremos humedad	62
Cuadro 14. Inversión económica de cada participante.	78
Cuadro 15. Presupuesto detallado.....	79
Cuadro 16. Comparativa de precios, tesis frente a valor comercial.	80
Cuadro 17. Especificaciones de la cámara climática	83
Cuadro 18. Condiciones ambientales al medio día.....	103

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Serpentín utilizado en cámara de calibración en México.	25
Figura 2. Esquema sistema de calibración de cámara climática en México.	26
Figura 3. Diseño CAD de la cámara de temperatura controlada.....	28
Figura 4. Esquema general alternativa ganadora	40
Figura 5. Subsistemas cámara climática.	41
Figura 6. Subsistemas en serie vista frontal	44
Figura 8. Celda peltier.....	45
Figura 9. Flujo de calor.	46
Figura 10. Diagrama de resistencias térmicas, calor ganado.	48
Figura 11. Especificaciones celda peltier.....	51
Figura 12. Ubicación del subsistema de refrigeración	52
Figura 13. Explosionado del subsistema de refrigeración.....	52
Figura 14. Subsistema de calefacción.	53
Figura 15. Flujo de calor, perdidas.....	54
Figura 16. Diagrama resistencias térmicas.	55
Figura 17. Datos técnicos resistencia eléctrica.	58
Figura 18. Ubicación subsistema de calefacción	59
Figura 19. Explosionado Subsistema de calefacción.....	59
Figura 20. Subsistema humidificador ultrasonido.	60
Figura 21. Ubicación puntos extremos humedad en el diagrama psicrométrico	61
Figura 22. Datos técnicos humificador por ultrasonido.	62
Figura 23. Ubicación subsistema de Humidificación.....	63
Figura 24. Explosionado subsistema de humidificación.....	63
Figura 25. Diagrama funcionamiento deshumidificación por condensación.	64
Figura 26. Comportamiento cámara climática en carta psicrométrica.	66
Figura 27. Ubicación sistema de deshumidificación.	65
Figura 27. Subsistema de control.	67
Figura 28. Especificaciones técnicas controlador.	68
Figura 29. conexiones según manual de usuario mt 530e.....	69

Figura 30. Plano eléctrico impreso al respaldo del controlador	69
Figura 32. Programación por bloques de función	70
Figura 33. Operadores lógicos NOT, AND OR, XOR.....	71
Figura 34. Placa difusora.	72
Figura 35. Volumen útil de calibración.	73
Figura 36. Celdas peltier.	73
Figura 37. Montaje subsistema de refrigeración.	74
Figura 38. Resistencia eléctrica.	75
Figura 39. Subsistema de calefacción.	75
Figura 40. Humidificador por ultrasonido.	76
Figura 41. Fotografía montaje final	77
Figura 42. Símbolos empleados en el manual.	82
Figura 43. Distribución de la carga dentro de la cámara.....	85
Figura 44. Cómo encender la cámara climática.....	86
Figura 45. Indicadores en pantalla del controlador.	86
Figura 46. Grafica temperatura vs tiempo, refrigeración desde temperatura ambiente a 16°C.....	92
Figura 47. Grafica Temperatura vs tiempo, calefacción, de 16°C a 40°C.	93
Figura 48. Gráfica temperatura vs tiempo, refrigeración desde 40°C.....	94
Figura 49. Gráfica humedad relativa vs tiempo, deshumidificación, humedad ambiente a 30%.....	95
Figura 50. Gráfica, humedad vs tiempo, humedad 30% a 70%.....	96
Figura 51. Grafica humedad relativa vs tiempo, humedad 70% a 30%.	97
Figura 52. Prueba cámara climática aperturas no planificadas.	99
Figura 53. Refrigeración aperturas no planificadas.....	100
Figura 54. Calefacción aperturas no planificadas.	101
Figura 55. Grafica humedad relativa vs tiempo. Humedad ambiente 58% hasta 30%.....	102
Figura 56. humedad relativa vs tiempo, apertura no planificada.....	103
Figura 57. Gráfica temperatura vs tiempo, refrigeración desde el ambiente a 16°C. Hora: 12m.....	104

Figura 58. Gráfica temperatura vs tiempo, calefacción de 16°C a 40°C. Hora 12m.....105

Figura 59. Humedad relativa vs tiempo, 70% a 30%. Hora 12m.106

Figura 60. Humedad relativa vs tiempo, humidificación, 30% a 70%. Hora 12m.....107

GLOSARIO

Calibración: conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medida o un sistema de medida y los valores correspondientes de esa magnitud realizados por patrones.

Errores: El error de medición se define como la diferencia entre el valor medido y el "valor verdadero". Los errores de medición afectan a cualquier instrumento de medición y pueden deberse a distintas causas. Las que se pueden de alguna manera prever, calcular, eliminar mediante calibraciones y compensaciones, se denominan deterministas o sistemáticos y se relacionan con la exactitud de las mediciones.

Estabilidad (de temperatura o humedad): es la variación temporal de la temperatura y/o humedad medida en la zona de calibración en un periodo suficiente para realizar el proceso de comparación teniendo en cuenta la constante de tiempo de los patrones e instrumentos. Se cuantifica mediante la obtención de la desviación típica de las lecturas de los patrones.

Incertidumbre de medida: parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando.

Incertidumbre: Parámetro que representa cuantitativamente la "duda" que se tiene sobre la medición realizada. Por una cuestión práctica se cuenta con información limitada de lo que se está midiendo y de todas las fuentes que pueden influir en ella y en cómo se interpretas los datos obtenidos. Los valores obtenidos en una medición poseen una componente de duda, relacionada a cuán confiable es la medición que se está realizando.

Patrón de medida: Es una cantidad estandarizada de una determinada magnitud física, definida y adoptada por convención o por ley. Acción de determinar una magnitud con un utensilio o aparato tomando como patrón una unidad: la medida puede ser directa, como la medida de la temperatura

con un termómetro, o indirecta, como las medidas que requieren el uso de operaciones y fórmulas.

Repetibilidad (de los resultados de las mediciones): grado de concordancia entre resultados de sucesivas mediciones de este mensurando, mediciones efectuadas con aplicación de la totalidad de las mismas condiciones de medida.

Termohigrómetro digital: dispositivo destinado a utilizarse para hacer mediciones de humedad y temperatura que muestra una indicación digital en unidades de humedad: % de humedad relativa, y de temperatura: grados Celsius. Normalmente está constituido por uno o varios sensores y un equipo de lectura.

Trazabilidad: La propiedad del resultado de una medida o del valor de un estándar donde éste pueda estar relacionado con referencias especificadas, usualmente estándares nacionales o internacionales, a través de una cadena continúa de comparaciones todas con incertidumbres especificadas.

Zona de calibración (volumen útil): Es aquella parte interior del medio generador de condiciones de temperatura y/o humedad, claramente delimitada, y que se destina a la calibración de instrumentos por comparación. Suele estar situada en el centro del recinto, alejada de las paredes y otros sumideros o focos de calor.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE CÁMARA CLIMÁTICA PARA FOMENTAR LA AUTONOMÍA EN LA CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS DE LAS EMPRESAS PRESTADORAS DE SALUD DEL AREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA. *

AUTOR: EDWARD FABIAN ARDILA RUIZ, IVAN ANDRES LOZANO ARENAS.**

PALABRAS CLAVE: DISEÑO, CALIBRACIÓN, TERMOHIGROMETRO, CÁMARA CLIMÁTICA, TEMPERATURA, HUMEDAD RELATIVA.

DESCRIPCIÓN: La importancia del aporte al desarrollo social y tecnológico que pretende este proyecto se recita de una manera clara y concisa en su introducción, es allí donde desemboca esta tesis. Se definen conceptos básicos necesarios para la comprensión de la problemática presentada por las EPS en Bucaramanga a la hora de calibrar sus instrumentos de medida (termohigrómetros), y se establecen unos objetivos misionales y visionales que le permitan a este proyecto poder dar solución al inconveniente mencionado. Mediante el diseño y construcción de un prototipo funcional de cámara de clima controlado se incentiva a las EPS a tener mayor autonomía en la calibración de sus dispositivos, es por esto que, el contenido fundamental de esta tesis se desarrolla inicialmente con la descripción en detalle de los procesos de diseño efectuados para cada uno de los subsistemas que conforman la cámara, también se describe el proceso de construcción del prototipo funcional donde se generan pruebas de funcionamiento y viabilidad, se simulan dos escenarios experimentales en los cuales se analiza la capacidad de respuesta del dispositivo frente a estas adversidades que podrían presentarse en el proceso de calibración de termohigrómetros.

Finalmente, se elaboran los manuales de funcionamiento y mantenimiento correspondientes a la maquina en cuestión, como también el estudio de viabilidad económica del proyecto, el cual evidencia que se cumple con el mayor requerimiento establecido por las EPS de la ciudad.

* Trabajo de grado.

**Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica.
Director Magister en informática Omar Armando Gelvez Arocha.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FUNCTIONAL CLIMATE CHAMBER PROTOTYPE TO PROMOTE AUTONOMY IN THE CALIBRATION OF THERMOHIGROMETERS OF THE HEALTH CARE PROVIDERS AT THE METROPOLITAN AREA IN BUCARAMANGA.

AUTHOR: EDWARD FABIAN ARDILA RUIZ, IVAN ANDRES LOZANO ARENAS.**

KEY WORDS: DESIGN, CALIBRATION, THERMOHYGROMETER, CLIMATE CHAMBER, TEMPERATURE, RELATIVE HUMIDITY.

DESCRIPTION: The importance of the contribution to social and technological development that this project intends to show is addressed clearly and concisely in the introduction.

Important basic concepts helping to understand the problems presented at the EPS in Bucaramanga when calibrating their measuring instruments (Thermohygrometers) are defined. Likewise, this project establishes missionary and vision objectives that allow solving the difficulties mentioned above. The EPS are encouraged to have greater autonomy in the calibration of their devices by designing and constructing a functional prototype of a heated chamber.

By these means, the main content of this thesis is initially developed with a detailed description of the design processes carried out for each camera subsystem. It also describes the construction process of the functional prototype, where operational and feasibility tests are generated. Furthermore, two experimental scenarios are simulated in which the response capacity of the device is analyzed.

Finally, the operation and maintenance manuals corresponding to the machine in question are prepared, as well as the economic feasibility of the project, which shows that it complies with the major requirement established by the EPS in the city.

* Degree work.

**Faculty of Physicomechanical Engineering. Mechanical Engineering School. Director Master of computer science Omar Armando Gelvez Arocha.

INTRODUCCIÓN

En Colombia las entidades de salud deben velar porque la calidad de atención y el servicio prestado a los usuarios sean óptimos, es por esto, que en cada país o región del mundo se crean leyes y/o normas que estipulan los parámetros a seguir por estas entidades para que se cumpla la prestación de servicios de una manera óptima. En nuestro país estas leyes son establecidas, vigiladas y controladas por el Ministerio de Salud y Protección Social, en la medida en que las entidades prestadoras de salud cumplan con estos parámetros se galardonan con una acreditación otorgada por dicha entidad pública.

Uno de los parámetros con los cuales deben cumplir las entidades prestadoras de salud – EPS para seguir prestando un servicio óptimo, se halla en el marco ambiental, para ello debe garantizar que sus instalaciones tales como: quirófanos, consultorios, entre otros, se encuentren en unas condiciones ambientales (temperatura y humedad relativa) establecidas, mediante la resolución 1441 del 6 mayo del 2013, la cual define los valores de dichas condiciones. Para esto las EPS cuentan con sus propios implementos de medición: termómetros, higrómetros y termohigrómetros. Estos implementos toman los datos de temperatura, humedad relativa, y en conjunto, respectivamente.

A pesar de que actualmente la gran mayoría de las EPS en Colombia garantizan una prestación de servicios de alta calidad, no cuentan con un sistema que les permita calibrar sus implementos de medición y poder garantizar la fiabilidad y trazabilidad de estos, por esto, se ven obligados a contar con los servicios de terceros para poder realizar dichas calibraciones. Estas se basan en una metodología muy sencilla: básicamente consiste en comparar los valores de medición obtenidos por sus implementos con el valor presentado por un patrón de referencia, aunque gran parte de las EPS cuentan con un termohigrómetro patrón. Como se mencionó anteriormente,

no cuenta con el sistema de calibración, debido a que no poseen la capacidad de variar controladamente las condiciones ambientales requeridas, por ende, no están en capacidad de garantizar la confiabilidad y trazabilidad para sus respectivas calibraciones.

Este proyecto propone realizar el diseño y construcción de un prototipo funcional a escala de una cámara climática donde las variables de temperatura y humedad relativa sean controladas según los rangos requeridos, y de este modo realizar las calibraciones de sus instrumentos de medida, garantizando la confiabilidad y trazabilidad.

1. OBJETIVOS

1.1 Objetivo general

Aportar al desarrollo social, científico y tecnológico recitado en la misión de la escuela de ingeniería mecánica, por medio del diseño y construcción de un prototipo funcional de cámara climática para la calibración de termohigrómetros, de este modo se da respuesta a las necesidades que presentan las entidades prestadoras de salud en el área metropolitana de Bucaramanga.

1.2 Objetivos específicos

- Diseñar una cámara climática para la calibración de termohigrómetros destinados a uso biomédico con las siguientes características:
 - Sistema de calefacción, refrigeración, humidificación y deshumidificación.
 - Control automático del sistema para garantizar un rango de operación entre 16 a 40°C para la temperatura y 30 a 70% para la humedad relativa.
- Construir un prototipo funcional a escala de cámara climática para pruebas, que permita controlar la temperatura entre 16 a 40°C y una humedad relativa de 30 a 70% de manera automática.
- Realizar un estudio de costos que permita establecer la viabilidad del proyecto.
- Elaborar el Manual de instrucciones y funcionamiento, además, del plan de mantenimiento correspondiente a la cámara de climatización.
- Simular experimentalmente en el prototipo construido para determinar su respuesta transitoria en los siguientes escenarios.
 - Apertura no planificada de puerta del dispositivo.

-Variación en las condiciones ambientales en la ubicación del dispositivo.

2. MARCO TEORICO

Los termohigrómetros son instrumentos muy utilizados en la industria para la medición de la temperatura y la humedad del aire. Gracias a su resistencia, amplio rango de medida y a su normalización, su uso está muy extendido en las industrias. Los termohigrómetros deben ser seleccionados según el rango de medida, la precisión y el entorno de su uso. La calibración de termohigrómetro consiste en la comparación de un patrón con el termohigrómetro mediante un método validado y acreditado.

La calibración de termohigrómetros es una actividad que se realiza en condiciones controladas y en un rango de temperatura y humedad determinado. La calibración debe ser una actividad controlada y planificada para una eficiente gestión de esta. Normalmente los distintos equipos se suelen agrupar en un plan de calibración el cual sirve como soporte para la gestión de los instrumentos incluidos en el sistema de calidad.

En la calibración de los termohigrómetros se utilizan patrones de temperatura y humedad debidamente certificados. El resultado de calibrar termohigrómetros se incluye en un certificado de calibración, el cual debe contener una serie de información mínima y cumplir una serie de condiciones para ser aceptado y reconocido.

Calibrar termohigrómetros es comparar la medida de un patrón de referencia con la medida del mensurando. Al calibrar los termohigrómetros se estará aportando niveles de fiabilidad y seguridad en los procesos donde la medición resultante del uso del instrumento tenga lugar.

2.1 Marco legal-normatividad

La red colombiana de metrología en Colombia implemento la guía para la calibración de termómetros digitales con sensor tipo PRT, termistor y termopar en baños líquidos y hornos de bloque metálico, la guía está

acreditada por el instituto nacional de metrología de Colombia – INM y el organismo nacional de acreditación de Colombia – ONAC.

Esta guía tiene por objeto proporcionar lineamientos para la calibración de termómetros digitales con PRT, termistor y termopar por el método de comparación en baños líquidos y hornos de bloque metálico con el fin de mejorar la compatibilidad de los resultados de calibración obtenidos por los laboratorios que calibran este tipo de instrumentos.

En esta guía se presenta de manera explícita la descripción de actividades que se deben realizar para llevar a cabo el proceso de calibración, a continuación, se describe la secuencia de calibración:

- Realizar una medición en el punto de hielo o en un medio isoterma a 0 °C. Si el rango de funcionamiento del IBC no abarca esta temperatura, se puede realizar una medición en el punto más bajo de temperatura solicitado por el cliente.
- Al introducir los termómetros en los medios de comparación, incluyendo el patrón de verificación; la profundidad de inmersión del termómetro bajo calibración debe ser igual o mayor a la profundidad mínima de inmersión determinada por el fabricante o la definida por el usuario. En caso de no tener información de tal profundidad, puede realizarse un perfil de inmersión para determinar la profundidad después de la cual no se produce un cambio pronunciado en las lecturas de temperatura del IBC. Todos los termómetros deben estar ubicados dentro del volumen o zona de trabajo del medio, el cual debe ser determinado en la caracterización.
- En el caso de la calibración en hornos de bloque metálico, se debe tener presente que el diámetro del pozo del bloque no exceda en más de 0.5 mm al diámetro del tallo del sensor para calibraciones por debajo de 660 °C. Para calibraciones por encima de dicha temperatura, la diferencia entre diámetros debería ser hasta 1[mm].

- Iniciar la calibración en el punto más bajo y continuar a temperaturas crecientes.
- Una vez se alcance el equilibrio térmico se inicia la toma de datos. Se confirma que la estabilidad sea igual o menor a la declarada en la caracterización del medio de comparación.
- Para la toma de datos se realizan nueve (9) lecturas, preferiblemente simultáneas, una lectura cada 20 s.
- En caso de que se lleven a cabo calibraciones al mismo tiempo con varios IBCs, se pueden tomar mediciones simultáneas bien sea empleando software de adquisición de datos o tomando una fotografía de todos los indicadores cada 20 segundos. En caso de no existir esta posibilidad, se pueden tomar las mediciones con un solo IBC por 180 s y seguidamente pasar el segundo IBC durante 180 s, y luego medir de manera similar con los IBCs restantes.
- Si el cliente autoriza y el termómetro lo permite realizar el ajuste según el manual técnico del equipo. El certificado de calibración debe incluir los resultados de calibración antes y después del ajuste, junto con los demás requerimientos bajo la norma ISO/IEC 17025f

2.2 Estado del arte

2.2.1 Antecedentes Internacionales. España, México y Perú son los principales investigadores de habla hispana en cuanto se refiere a termohigrómetros, estos dispositivos no solo prestan un servicio en el área médica también se utilizan en museos y teatros donde los niveles de humedad pueden generar la proliferación de bacterias que generen deterioro en las instalaciones, documentos y objetos arqueológicos que se encuentren en estos recintos.

En la universidad autónoma de nuevo león en México se desarrolló una tesis de maestría: "Implementación de un sistema de control de alta precisión en

temperatura para una cámara de clima controlado”¹. La cámara se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (FIME), esta cámara cuenta con un rango de temperatura que oscila en -30°C y 45°C, para la adquisición de datos registra en una computadora las temperaturas, voltaje, corriente y calcula la potencia consumida por dispositivos o máquinas en prueba, dentro del programa se crea un registro del consumo eléctrico. En el sistema de control se gobiernan válvulas dentro del circuito de refrigeración y resistencias eléctricas que acondicionan el clima interno de la cámara. La principal aportación es la implementación de un sistema de control basado en el controlador PID (proporcional, integral, derivativo) altamente flexible, el cual gobierna la refrigeración y calefacción. En la ciudad de Santiago de Querétaro, México, se realizó el simposio de metrología del 22 al 24 de octubre del 2008, allí se presentó el proyecto que lleva por título: “Cámara con Flujo de Aire para la Calibración en Temperatura de Termohigrómetros”², el cual fue presentado por Jesús A. Dávila P., Enrique Martines L. en representación del centro nacional de metrología ubicado en Querétaro México. Esta cámara tiene circulación de aire y se sumerge en un baño líquido con temperatura controlada. La temperatura del aire se controla a la misma temperatura del baño. La cámara es cilíndrica y de acero inoxidable, con un diámetro de 8 cm y una altura de 20 cm. El sistema incluye un serpentín de aproximadamente 4 m de largo y diámetro de 0,64 cm. La cámara y el serpentín se sumergen en un baño líquido con temperatura controlada. Con la ayuda de una bomba de aire y un controlador de flujo másico se inyecta gas a la cámara a través del serpentín; El

¹ MARTÍN COBOS, Adrián. Implementación de un sistema de control de alta precisión en temperatura para una cámara de clima controlado. {En línea}. {12 de agosto de 2019}. Disponible en: (<http://eprints.uanl.mx/11787/>).

² DAVILA. Jesús A. Cámara con Flujo de Aire para la Calibración en Temperatura de Termohigrómetros. {En línea}. {15 de agosto de 2019}. Disponible en: (https://mensor.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M1/SM2008-M118-1099.pdf)

serpentín permite acondicionar la temperatura del aire a aproximadamente la temperatura del baño. La cámara tiene acometidas para colocar un termómetro patrón y un termohigrómetro, el cual contiene al termómetro bajo calibración. La cámara tiene también un conducto para controlar la salida de aire hacia el ambiente.

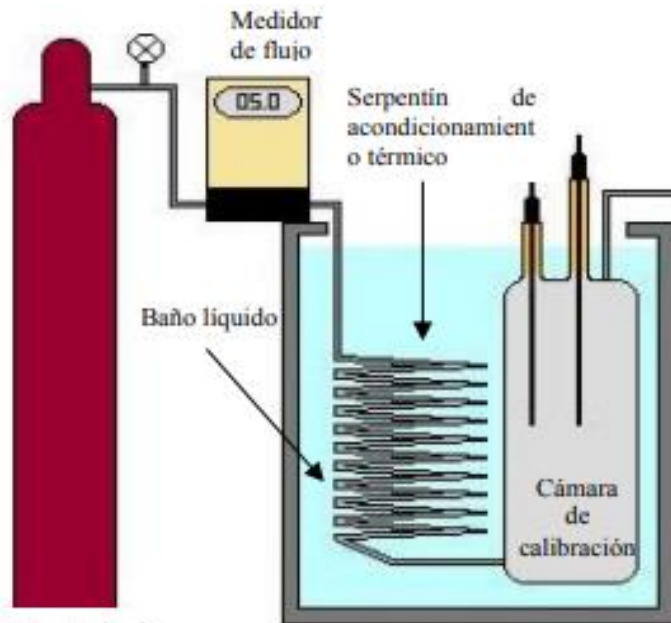
Figura 1. Serpentín utilizado en cámara de calibración en México.



Fuente: DAVILA. Jesús A. Cámara con Flujo de Aire para la Calibración en Temperatura de Termohigrómetros. {En línea}. {15 de agosto de 2019}. Disponible en: https://mensor.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M1/SM2008-M118-1099.pdf

La cámara y el serpentín se colocan en el baño líquido con temperatura controlada y se sumergen aproximadamente 5 cm por debajo del nivel del líquido. El serpentín sirve para acondicionar la temperatura del gas que entra a la cámara.

Figura 2. Esquema sistema de calibración de cámara climática en México.



Fuente: DAVILA. Jesús A. Cámara con Flujo de Aire para la Calibración en Temperatura de Termohigrómetros. {En línea}. {15 de agosto de 2019}. Disponible en: https://mensor.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/M1/SM2008-M118-1099.pdf

Las acometidas donde se coloca el termohigrómetro y el termómetro patrón se aíslan térmicamente para reducir el efecto de la temperatura ambiente. Este proyecto aporta una gran alternativa respecto al diseño conceptual del sistema de refrigeración que se quiere implementar en la cámara, genera una alternativa que no es muy común pero que resulta ser muy provechosa, otra ventaja de este proyecto es su diseño geométrico, ya que, en este caso se utiliza una forma cilíndrica, algo no tan común, pero sí, muy interesante. En la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería de la ciudad de Lima Perú se llevó a cabo el proyecto: “implementación de una cámara isohigrométrica para la calibración de higrómetros analógicos y

digitales”³, este proyecto desarrolló la implementación y uso de una cámara isohigrométrica con mezclas de sal y agua como generadoras de humedad para la calibración de higrómetros analógicos y digitales. Estando los valores de humedad relativa a medir en intervalos denominados, bajos, medios y altos, que se encuentran aproximadamente en puntos fijos de alrededor de 40 %hr, 60 %hr y 90%hr respectivamente.

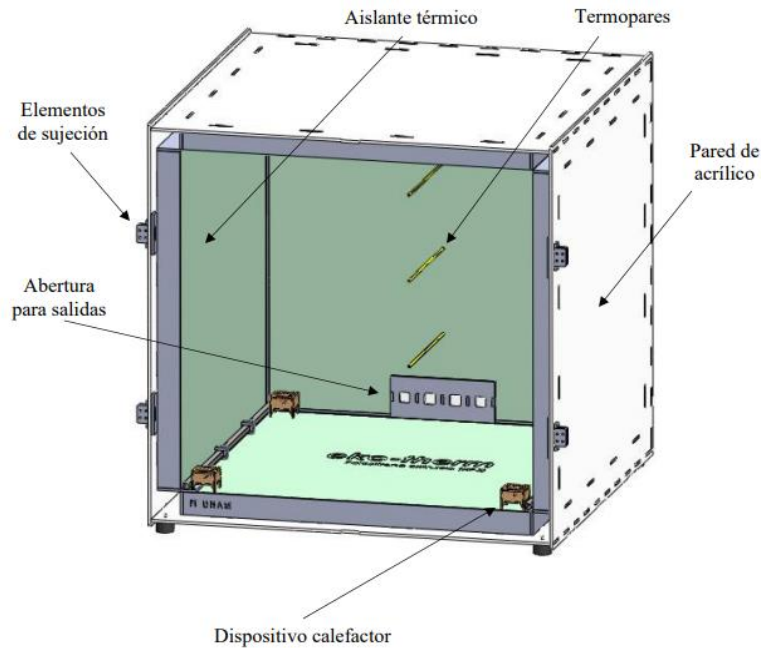
Se Utilizaron mezclas de sal y agua para generar humedades específicas en la cámara isohigrométrica para así proceder a la calibración de higrómetros que usan sensores de humedad, principalmente capacitivos que son usualmente utilizados en el mercado (Industrias, Farmacéuticas, Laboratorios de ensayo, etc.) Este equipo ha permitido la calibración de higrómetros analógicos y digitales con buena reproducibilidad en los ensayos, obteniendo como Error Normalizado menor a 1, lo que muestra que tiene buena consistencia en los resultados obtenidos; El principal aporte se orienta al diseño, volumen del equipo y su gradiente característica. En este caso se implementó una cámara con un gradiente de alrededor de 2% hr por cada uno de los puntos fijos de humedad.

En la Universidad Nacional Autónoma de México se desarrolló un proyecto titulado “Diseño y construcción de una cámara de temperatura controlada”⁴, en el cual se construye una cámara climática para el laboratorio de termofluidos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, la cual tiene una estructura hecha de acrílico y está cubierta en su interior con un aislante térmico para disminuir la pérdida de calor de las paredes hacia el exterior.

³ MEZA BÁRCENAS, Roger Jenry. Implementación de una cámara isohigrométrica para la calibración de higrómetros analógicos y digitales. [En línea]. [12 de agosto de 2019]. Disponible en: (<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2736>).

⁴ RUIZ MÁRQUEZ, Juan Pedro; Diseño y construcción de una cámara de temperatura controlada. [En línea] [11 de agosto de 2019]. Disponible en: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12168/Tesis_Mec%C3%A1nica_JPRM.pdf?sequence=1.

Figura 3. Diseño CAD de la cámara de temperatura controlada.



Fuente: RUIZ MÁRQUEZ, Juan Pedro; Diseño y construcción de una cámara de temperatura controlada. [En línea] [11 de agosto de 2019]. Disponible en: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12168/Tesis_Mec%C3%A1nica_JPRM.pdf?sequence=1.

Es capaz de mantener la temperatura en su interior dentro de un rango especificado por el usuario, mediante un sistema de control On-Off, que controla el encendido y apagado de cuatro dispositivos calefactores. Cada uno de estos dispositivos está compuesto de una resistencia de nicromel que calienta el aire y un ventilador que sirve para distribuir el aire y uniformizar su temperatura. Este proyecto nos permite tener una base sólida de conocimiento sobre los sistemas de control de temperatura (On-Off) utilizados en las cámaras de climatización, y se presenta como una alternativa de diseño y construcción para el proyecto que se desea ejecutar.

En la facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Tecnológica Indoamérica en la ciudad de Quito Ecuador, se realizó un trabajo de

investigación titulado “Análisis del proceso de calibración de termohigrómetros y su incidencia en la productividad de la empresa Tecniprecisión Cía. Ltda.”. El desarrollo de la metodología se enfoca en un análisis cualitativo y cuantitativo de los equipos utilizados en el proceso de calibración de termohigrómetros de la empresa antes mencionada, y su impacto negativo en la productividad, aportando posibles soluciones al problema. Para ello se elaboró una propuesta de diseño de una cámara que genere variación de temperatura y humedad controlada para calibración de termohigrómetros. La cámara está conformada por equipos de alta precisión y es controlada mediante un PLC logrando un funcionamiento eficiente y automático.

Este proyecto nos muestra una alternativa para implementar el sistema de control de la cámara climática de calibración de termohigrómetros, en este caso mediante un Controlador Lógico Programable (PLC), utilizado en la ingeniería para automatizar procesos, por lo cual, es un aporte importante para la ejecución del proyecto.

2.2.2 Antecedentes Nacionales. Se realiza como proyecto de grado en la ciudad de Pereira un prototipo de cámara climática en la que se puedan simular y controlar condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en un rango de operación determinado. La tesis se titula: “Diseño e implementación de un prototipo de control de humedad relativa para una cámara existente en el laboratorio de metrología de variables eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira”⁵.

La construcción de este prototipo está basada en una revisión bibliográfica de protocolos de calibración de equipos que permitan medir variables ambientales, tales como la temperatura y humedad relativa. Se utiliza un equipo patrón para realizar las pruebas soportando así la caracterización de la cámara, atendiendo a los requisitos técnicos nacionales e internacionales vigentes contenidos en la norma, la cual establece los estándares para el manejo de equipos y ensayos en laboratorios de metrología. El principal aporte de este proyecto es la información bibliográfica de los protocolos de calibración en las cámaras climáticas.

En la Universidad de América ubicada en la ciudad de Bogotá se realiza un trabajo de investigación y diseño: “Diseño de una cámara climatizada, automatizada, con manejo de información por telemetría y condiciones operativas controladas para pruebas de equipos y materiales”⁶. Este proyecto se desarrolla partiendo de la necesidad de disponer de un cuarto de pruebas

⁵ ALZATE ARANGO. José Eduardo. GUERRERO. Jose Antonio. Diseño e implementación de un prototipo de control de humedad relativa para una cámara existente en el laboratorio de metrología de variables eléctricas de la Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, 2018, 54p. Trabajo de grado (ingeniero físico). Universidad Tecnológica de Pereira. Programa de ingeniería física.

⁶ MUÑOZ GUATIBONZA, J. A. Diseño de una cámara climatizada, automatizada, con manejo de información por telemetría y condiciones operativas controladas para pruebas de equipos y materiales. Bogotá, 2018. Trabajo de grado (ingeniería mecánica). Fundación Universidad de América.

para la evaluación y certificación de equipos, evaluando la eficiencia energética de los artefactos de refrigeración doméstica y comercial. Se caracterizan las variables del ambiente que se requieren controlar en el interior de la cámara climatizada de acuerdo con las condiciones generales de los ensayos para los equipos a evaluar, estableciendo los rangos de operación para la temperatura (2°C – 45°C), humedad relativa (50% - 98%) y velocidad del aire (0,254 m/s) en los laboratorios de pruebas.

Se calculó la carga térmica de refrigeración y calefacción para cada uno de los laboratorios de pruebas y se seleccionaron los sistemas de climatización de acuerdo con los parámetros de operación establecidos; de igual manera se selecciona la instrumentación y los elementos para el control de los equipos de climatización empleados en la cámara. Finalmente se determinaron los costos de la implementación del proyecto de acuerdo con los materiales, equipos y sistemas de control seleccionados para su funcionamiento.

Este proyecto nos aporta conocimiento con respecto a los parámetros técnicos y el diseño de la cámara climatizada de acuerdo con la normativa, para así definir los sistemas básicos de ventilación, humidificación, climatización y automatización que la componen.

A nivel nacional existen laboratorios especializados en la calibración de termohigrómetros, que cuentan con equipos de alta tecnología para este tipo de mediciones y profesionales expertos en metrología.

Como ejemplo, están los laboratorios Metrocal ubicados en Bogotá los cuales cuentan con acreditación ONAC vigente a la fecha con código de acreditación 11-LAC-033 bajo la norma ISO/IEC 17025:2005, Éstos prestan el servicio de calibración de dispositivos de medición a nivel nacional desarrollando sus actividades con equipos, y patrones adecuados que estén al alcance de los servicios que ofrecen, Alpha Metrología SAS es otro laboratorio que cuenta con acreditación ONAC para prestar el servicio de calibración de termohigrómetros, utilizando cámaras generadoras de

humedad que sirven para calibrar estos instrumentos de medición de temperatura y humedad relativa, cabe mencionar otros laboratorios como Colmetrik ubicado en Bogotá y Metroglobal en Sabaneta Antioquia que cuentan con una amplia tecnología para la calibración de termohigrómetros. Estos laboratorios fueron creados ante la necesidad de las empresas pertenecientes al sector industrial y comercial en encontrar la precisión y exactitud en los resultados de sus mediciones contribuyendo a la seguridad de sus procesos productivos.

Los laboratorios que cumplen los requisitos de la norma ISO/IEC 17025:2005 pueden demostrar que operan con un sistema de calidad y que sus competencias técnicas en ensayos de calibraciones generan resultados técnicamente válidos.

2.2.3 Antecedentes Locales Los estudiantes de ingeniería: Rodríguez Piedrahita Ana María y Villanova Sergio, desarrollaron su tesis de grado basados en el diseño y construcción de una cámara climática, durante la ejecución de su plan de trabajo los elaboración propia no tomaron en cuenta algunos factores requeridos por el ente que financiaba el proyecto de modo que hicieron las pruebas en un medio no controlado afectando notablemente las mediciones, alterando los resultados obtenidos. Ellos suministran algunos consejos para aquellos que estén interesados en realizar un rediseño de proyecto anteriormente mencionado.

3. PROCESO DE DISEÑO

3.1 Diseño conceptual

3.1.1 Requerimientos establecidos Un costo de fabricación inferior al comercialmente conocido.

- Se debe realizar la calibración de los termohigrómetros, en un espacio de calibración (volumen útil) igual a 60 litros (0,5*0,4*0,3) m. se debe controlar la temperatura y humedad de manera independiente.
 - Temperatura: (16-40) °C
 - Humedad: (30-70) %HR

Además de los requerimientos establecidos, es necesario tener en cuenta las condiciones ambientales donde va a operar la cámara de calibración, a continuación, se presentan los datos geográficos y climáticos de la ciudad de Bucaramanga.

Cuadro 1. Condiciones ambientales de Bucaramanga.

Temperatura máxima	30°C
Temperatura mínima	19°C
Humedad relativa máxima	84%
Velocidad promedio del aire	1,7 m/s
Presión atmosférica	0,989 atm

Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. {En línea}. {27 de junio de 2020}. Disponible en: (<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>)

3.1.2 Descripción del proceso de calibración. Para realizar las variaciones en las condiciones ambientales que se requieren para llevar a cabo la calibración de los termohigrómetros, es necesario seguir una serie de pasos que se describen a continuación.

- Introducir la cantidad de dispositivos a los cuales se les quiera realizar el proceso de calibración (máximo 4) junto con el termohigrómetro patrón.

- Una vez los dispositivos se encuentren en el interior, se debe cerrar correctamente la cámara climática de tal forma que el ambiente exterior no interfiera con las mediciones.

- Seguidamente, se establecen los diferentes valores de temperatura o humedad en los cuales se desea realizar el proceso de calibración según el protocolo establecido, se recuerda que la calibración consiste en la comparación de mediciones con el artefacto patrón.

- Una vez registrada las diferencias entre las mediciones de los termohigrómetros a calibrar y el dispositivo patrón, el personal técnico procede a intervenir cada termohigrómetro según corresponda.

3.1.3 Jerarquía de requerimientos La jerarquía se determina en función de los requerimientos o prioridades del cliente:

1. Costo inferior a los conocidos comercialmente.
2. Rangos de operación establecidos.
3. Capacidad interna de la cámara.

3.1.4 Despliegue matriz QFD A continuación, se muestra la matriz de calidad por medio de la cual se escogerá la alternativa que ofrezca una solución apropiada, esta matriz comprende dos secciones.

En esta primera sección se establecerá una relación entre los QUE (requerimientos del cliente) y COMO (soluciones) con una puntuación entre 1 y 5 siendo 1 menos relevante y 5 muy relevante.

Cuadro 2. Matriz Qfd, Qué vs Cómo

Requerimientos del cliente	PRECIO	INTERFAZ H-M	LIMPIEZA FACIL	ESPACIO DE CALIBRACIÓN	ESPACIO OCUPADO REDUCIDO
Costo					
Mantenimiento bajo					
Tamaño					
Estetica					
Peso					
Facil de usar					

Fuente: elaboración propia

En la sección 2 se detalla la importancia que tiene cada requerimiento del cliente se asignaron valores para cada ítem de 1 a 5 siendo 1 menos importante y 5 más importante, de igual forma se hace el análisis para cada una de las tres alternativas. El ponderado es el producto entre la importancia para el usuario y el valor asignado después, se hace una sumatoria por cada alternativa (columna) y aquella que tenga el total más alto será la alternativa que mejor se adapte al cliente.

Cuadro 3. Evaluación de alternativas.

	IMPORTANCIA PARA EL USUARIO	ALTERNATIVAS	1	2	3	PONDERADO	ALTERNATIVAS		
							1	2	3
Costo	5								
Mantenimiento bajo	3								
Tamaño	4								
Estética	1								
Peso	4								
Uso fácil	3								
						TOTAL			

Fuente: elaboración propia

3.1.5 Tipo de subsistemas Los subsistemas que contiene la cámara climática para la calibración de termohigrómetros son:

- Refrigeración
- Calefacción
- Humidificación
- Deshumidificación
- Control
- Mecánico

3.1.6 Planteamiento de alternativas se hace el planteamiento de cada una de las alternativas

➤ Alternativa 1

- Refrigeración por compresión de vapor

- Calefacción por resistencias eléctricas
- Humidificación por pulverización
- Deshumidificación absorción
- Control automático.

➤ Alternativa 2

- Refrigeración por celdas peltier
- Calefacción por resistencias eléctricas
- Humidificación por ultrasonido
- Deshumidificación por rueda desecante con gel de sílice.
- Control automático.

➤ Alternativa 3

- Refrigeración por celdas peltier
- Calefacción por resistencia eléctrica
- Humidificación por ultrasonido
- Deshumidificación por condensación

- Control automático.

3.1.7 Evaluación de alternativas para la evaluación de alternativas se pondrá en consideración las tres mencionadas en el punto inmediatamente anterior, por medio de una matriz QFD, se tendrá en cuenta los siguientes aspectos que el cliente considera fundamentales para cumplir sus necesidades: costo, tamaño, confiabilidad, estética, peso.

Cuadro 4. Valores de relación entre los QUE y COMO.

	PRECIO	INTERFAZ H-M	LIMPIEZA FACIL	ESPACIO DE CALIBRACIÓN	ESPACIO OCUPADO REDUCIDO
Requerimientos del cliente					
Costo	5	3	1	3	
Mantenimiento bajo	4	3	5	2	3
Tamaño			4	5	5
Estetica	4	5	4	4	1
Peso	2		3	3	5
Facil de usar	1	5	4	4	

Fuente: elaboración propia

La opción con mejor ponderado es la alternativa 3, esta posee las siguientes características: refrigeración por medio de celdas peltier, calefacción con resistencias eléctricas, deshumidificación por medio de condensación y control automático.

Cuadro 5. Determinación de la alternativa ganadora.

	IMPORTANCIA PARA EL USUARIO	ALTERNATIVAS	1	2	3	PONDERADO	ALTERNATIVAS		
							1	2	3
Costo	5		3	5	5		15	25	25
Mantenimiento bajo	3		2	2	3		6	6	9
Tamaño	4		1	5	5		4	20	20
Estetica	1						0	0	0
Peso	4		1	4	4		4	16	16
Uso fácil	3		5	5	5		15	15	15
						TOTAL	44	82	85

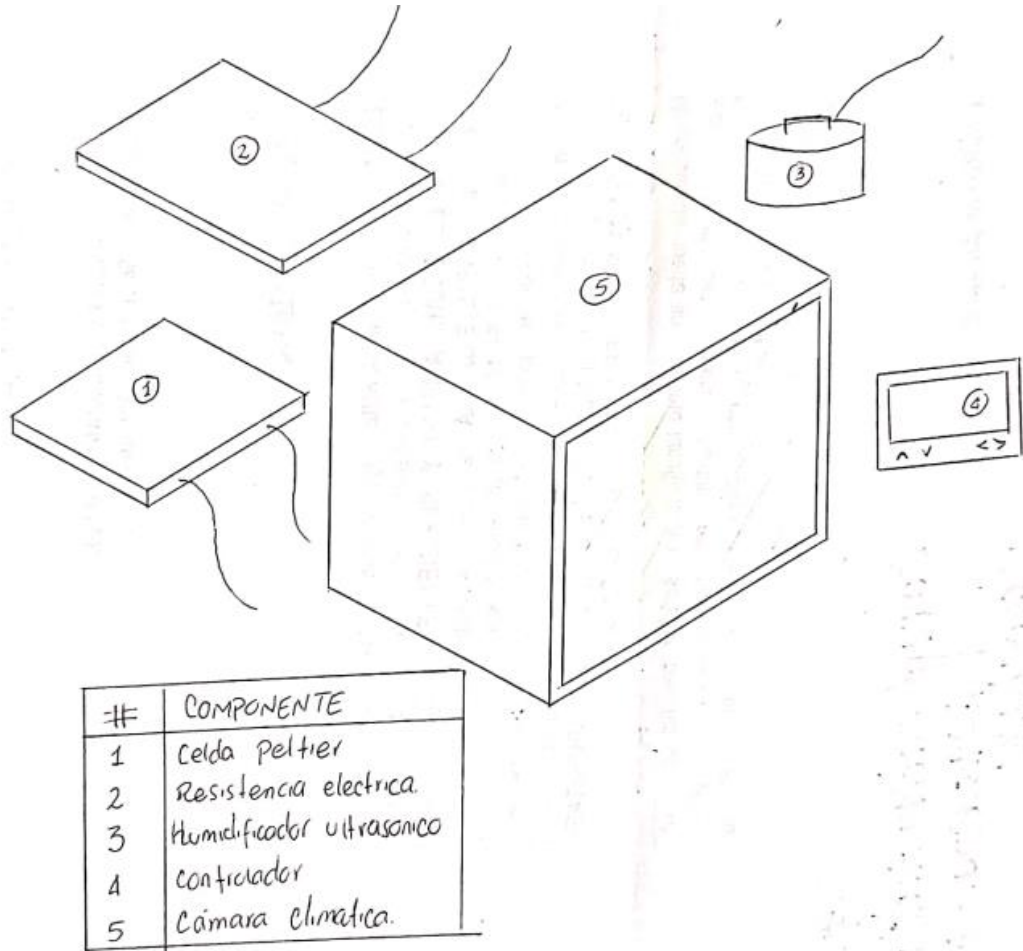
Fuente: elaboración propia

3.1.8 Especificación de alternativa ganadora A continuación, se muestra el esquema de la alternativa ganadora de forma detallada, de esta forma el lector se hace una idea de la propuesta planteada.

1. Bastidor de la cámara climática: Fabricado en acero inoxidable para garantizar durabilidad en un ambiente húmedo propenso a corrosión, de esta manera brinda protección a todos los subsistemas que conforman la cámara climática, Se debe resaltar que la puerta debe permitir visión hacia el interior.
2. Celdas peltier: Esta tecnología implica facilidad en el montaje, su mayor ventaja es el uso para refrigerar lo cual permite que el sistema sea liviano, pequeño y eficiente en el rango de operación requerido, además realiza la función de deshumidificación.
3. Resistencias eléctricas: consiste en resistencia eléctrica plana o de parche, esta se encargará de transformar la energía eléctrica en calor y llevar la temperatura en el interior de la cámara hasta su límite superior.

4. Control automático: Un controlador de la marca FULLGAUGE brinda la solución necesaria para este tipo de mecanismos (múltiples rangos operativos) otra de las ventajas es el tamaño del dispositivo además de su fácil conexión.
5. Humidificador por ultrasonido: Por su efecto de niebla permite humidificar el espacio rápidamente sin complicación, funciona a 110 voltios y con una cantidad de agua mínima.

Figura 4. Esquema general alternativa ganadora



Fuente: elaboración propia

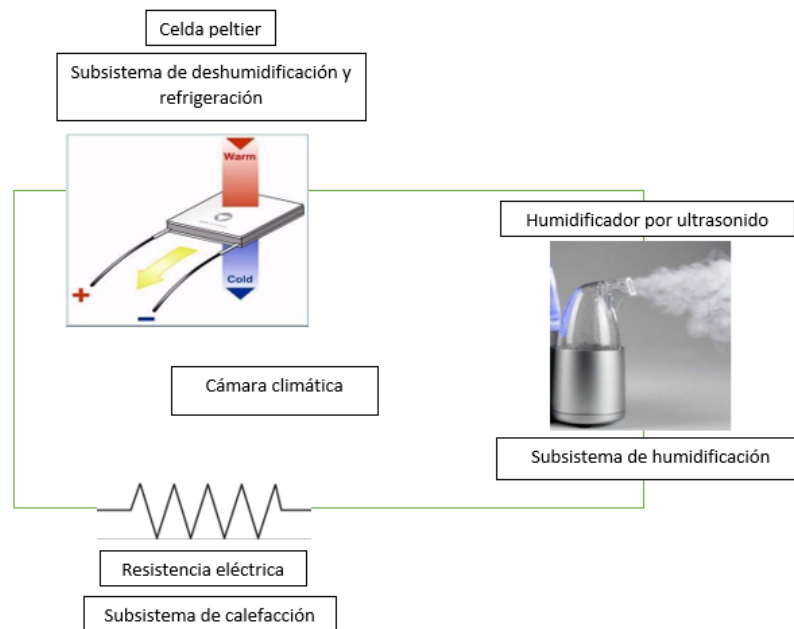
3.2 Diseño en detalle

Una vez seleccionado el sistema que mejor se adapta a los requerimientos establecidos en el diseño conceptual mediante matriz QFD, se realiza detalladamente el diseño de cada uno de los componentes que intervienen en el proceso.

Para la realización del diseño de la cámara climática se dispone de seis subsistemas, cada uno de estos cumple una función específica, que contribuye a la ejecución de diseño del proyecto en cuestión. A continuación, se realiza la presentación de cada uno de estos subsistemas:

- Subsistema mecánico
- Subsistema de refrigeración
- Subsistema de calefacción
- Subsistema de humidificación
- Subsistema de deshumidificación
- Subsistema de control

Figura 5. Subsistemas cámara climática.



Fuente: elaboración propia

La selección de los elementos en cada uno de los subsistemas mencionados anteriormente, se realiza mediante un análisis transitorio en la transferencia de calor y masa, de esta forma se establece la potencia y/o capacidad necesaria en cada proceso.

Cuadro 6. Elementos seleccionados.

Sistema	Elemento	Referencia	Cantidad
Refrigeración y deshumidificación	Módulo peltier	CP 30238, CUI Devices	3
Calefacción	Resistencia eléctrica	NA001 , BROTERMIC	1
Humidificación	Humidificador ultrasonido	Mist maker DK-24 769, ECO	1

Fuente: elaboración propia.

La descripción en detalle del análisis realizado para cada uno de los subsistemas se presenta a continuación, del mismo modo se especifican las características de cada uno de los implementos a usar.

3.2.1 Subsistema mecánico Este subsistema relaciona lo concerniente al sistema estructural de la cámara, teniendo en cuenta especificaciones establecidas de volumen útil del dispositivo, dicha estructura debe soportar los cambios ambientales, tanto del medio exterior como interior, es por esto que, en gran parte estará construido con acero inoxidable, lo cual nos garantiza que el ambiente corrosivo que se presente en el medio no afecte la cámara, este material también garantiza una construcción estética.

La puerta será fabricada de vidrio, esto con el fin de observar lo que pasa al interior de la cámara y tomar datos para la calibración de los termohigrómetros. También es necesario aislar el volumen útil, de este modo el medio exterior no influye en el ambiente controlado, para esto se utiliza

uno de los aislantes más usados en la industria de la refrigeración, poliuretano expandido.

El sistema estructural de la cámara está compuesto por diferentes componentes, los cuales delimitan el volumen útil del dispositivo y su funcionamiento.

- ✓ Paredes: como se mencionó, las paredes de la cámara son construidas en acero inoxidable debido a que posee características adecuadas para la construcción de la máquina, para este fin se utiliza AISI 304.

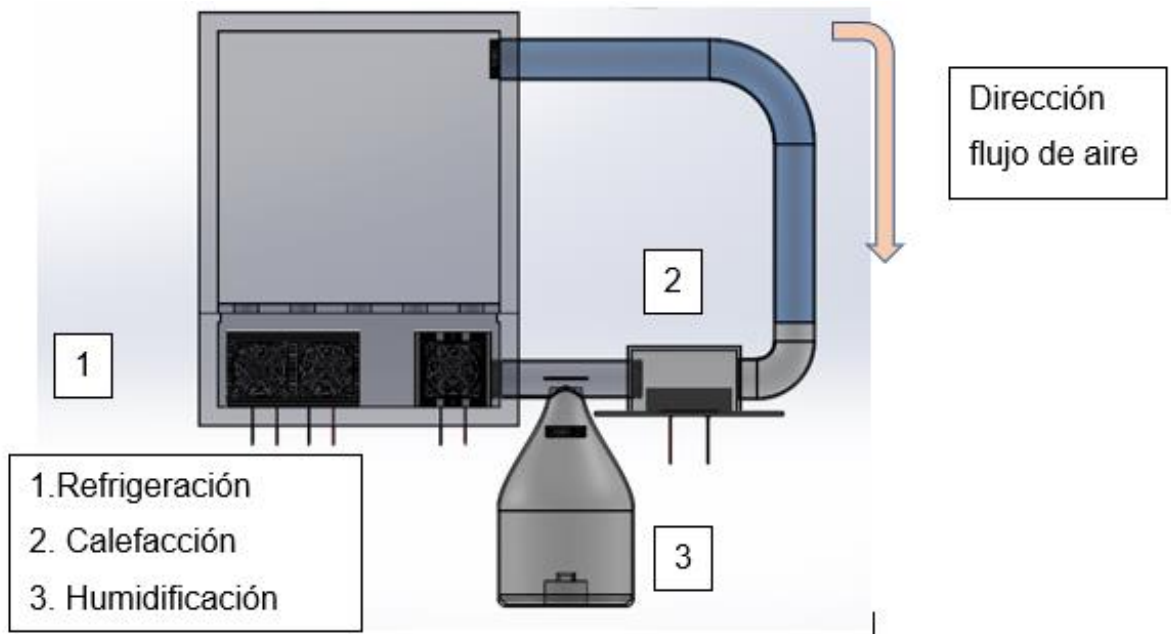
Este es un acero inoxidable austenítico, aleado con cromo, níquel y bajo contenido de carbono que presenta buena resistencia a la corrosión. No requiere un tratamiento posterior al proceso de soldadura; tiene propiedades para embutido profundo, no es templeable ni magnético. Puede ser fácilmente trabajado en frío (por ejemplo, doblado, cilindrado, embutido, etc.).

- ✓ Puerta: la puerta es fabricada en vidrio con un marco de acero inoxidable, con el fin de visualizar las mediciones que presentan los termohigrómetros al interior de la cámara y poder realizar el proceso de calibración de una forma clara.
- ✓ Aislante: a fin de que el ambiente exterior no influya de gran manera en la operación de la cámara, se aísla térmicamente la misma, por esto las paredes son diseñadas tipo sándwich llevando en el intermedio de las placas de acero una capa de poliuretano expandido, este aislante resulta ser muy eficiente además de ser comercial.
- ✓ Difusores: estos garantizan que el aire de proceso que ingrese a la cámara se propague de una manera homogénea al interior del dispositivo, permitiendo así que la toma de datos sea la misma en cualquier parte del volumen útil.
- ✓ Ventiladores: permiten la circulación y direccionamiento del flujo de aire al interior de la cámara climática y través de los subsistemas conectados en serie.

- ✓ Tubería: debe estar lo mas aislada posible con el fin que permita la menor perdida de temperatura.

La circulación del aire en tratamiento al interior de la cámara se realiza por medio de ventiladores distribuidos estratégicamente en un circuito en serie, el aire es modificado en cada subsistema antes de ingresar al volumen útil, este recorrido está determinado en el siguiente orden: calefacción, humidificación, refrigeración y deshumidificación, esta configuración se establece de forma experimental donde se consigue la mayor eficiencia de cada uno de los subsistemas.

Figura 6. Configuración en serie vista frontal

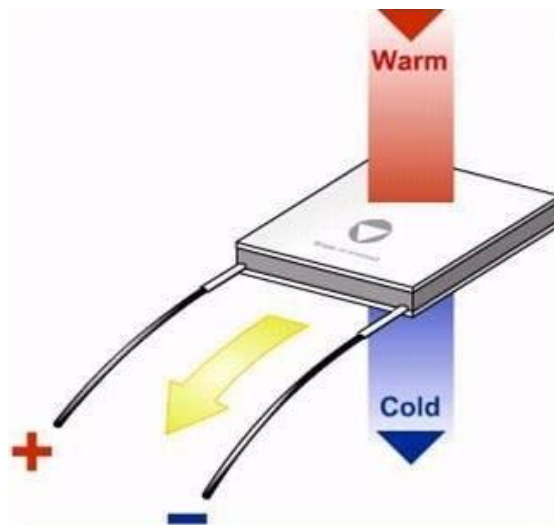


Fuente: elaboración propia

3.2.2 Subsistema de refrigeración El sistema implementado en la cámara consiste en la tecnología moderna de refrigeración termoeléctrica Peltier, el cual se encarga de llevar la temperatura hasta su límite inferior. Los elementos Peltier son componentes termoeléctricos capaces de bombear calor de forma reversible en una dirección definida.

La tecnología Peltier se aplica donde no es viable utilizar compresores debido a su tamaño y/o peso, estos elementos pueden ser de tamaño minúsculo, pero tener una potencia de refrigeración sorprendente. Una de sus principales ventajas frente a las máquinas frigoríficas convencionales con compresor es que no se emplean refrigerantes inflamables o nocivos para el medio ambiente.

Figura 7. Celda peltier.



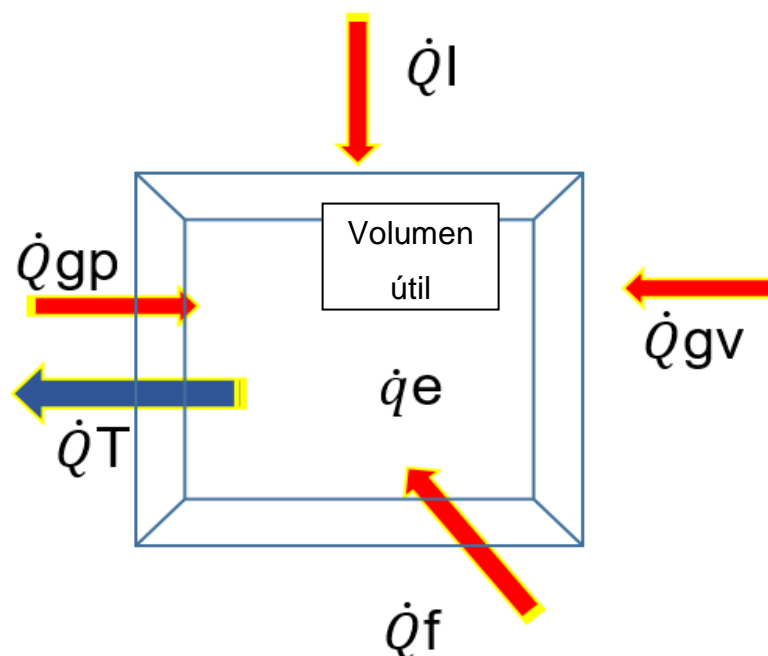
Fuente: ELECTRÓNICA 60 NORTE. Celda Peltier 60W 12V 12706. {En línea}. {30 de julio de 2020} disponible en: (<http://www.electronica60norte.com/producto/celda-peltier-60w-12v-12706>)

Para la selección de los componentes peltier a implementar en el subsistema de refrigeración se estiman las cargas térmicas presentes en la cámara.

A continuación, se describen los diferentes tipos de calor que deben ser retirados del volumen útil del artefacto.

- Calor ganado por la puerta de vidrio (Q_{gv})
- Calor ganado por las paredes (Q_{gp})
- Calor ganado ventiladores (Q_f)
- Calor ganado por iluminación (Q_l)
- Calor dentro de la cámara (Q_e)
- Calor total por retirar (Q_t)

Figura 8. Flujo de ganancia de calor



$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{gv} + \dot{Q}_{gp} + \dot{Q}_l + \dot{Q}_f + \dot{Q}_e$$

Fuente: elaboración propia

Mediante un análisis en la transferencia de calor y masa se logran estimar los valores cuantitativos de los distintos tipos de cargas térmicas que se presentan al interior de la cámara, descritos anteriormente.

Cuadro 7. Carga térmica subsistema de refrigeración.

Calor	Watts
-------	-------

Qgv	15.3
Qgp	13.47
Qf	6.6
Ql	10.4
Qe	1.7
Qtotal	47.2[w]

Fuente: elaboración propia

El proceso de obtención de cada uno de los valores correspondientes a la tabla 7 se describe a continuación.

✓ Calor ganado por la puerta de vidrio (Qgv)

Cuadro 8. Propiedades del vidrio.

Constante	Representación	
Espesor vidrio	E	6 mm
Conductividad térmica	K	0,8 w/(m*K)

Fuente: SAINT-GOBAIN. Propiedades del Vidrio. {En línea}. {30 de julio de 2020}. Disponible en: <https://www.saint-gobain-sekurit.com/es/glosario/propiedades-del-vidrio>

Cuadro 9. Coeficiente convección.

Constante	Representación	
con circulación forzada de aire	Hint	17.446 w/(m ² *K)
Con circulación natural de aire	Hext	8.141 w/(m ² *K)

Fuente: PIERRE RAPIN. Patrick Jacquard. Formulario del Frio. Barcelona: Marcombo, 1999. 217P.

$$\dot{Q}_{gv} = u * Av * \Delta t$$

$$u_{gv} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{\frac{1}{17.446} + \frac{0.006}{0.8} + \frac{1}{8.141}}$$

$$u_{gv} = 5.32 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$Av = 0.4 * 0.3 = 0.12 [m^2]$$

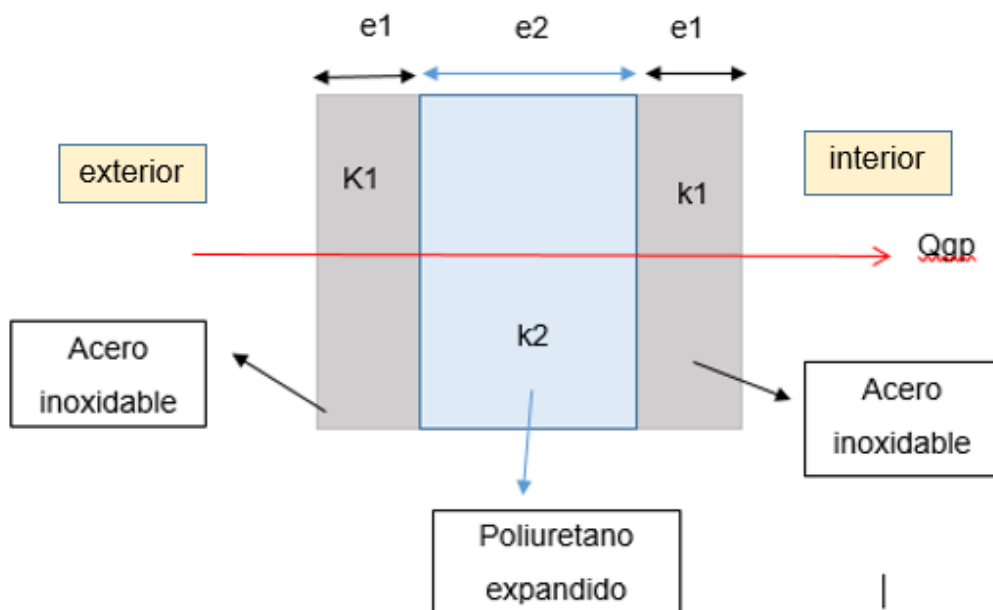
$$\Delta t = 40 - 16 = 24$$

$$Q_{gv} = 5.32 * 0.12 * 24 = 15,3 [W]$$

✓ Calor ganado por paredes (Qgp)

Las paredes de la cámara climática son construidas en forma de sándwich (acero, poliuretano expandido, acero). Como se muestra en la figura 10, el calor (Qgp) fluye desde el exterior atravesando los diferentes materiales.

Figura 9. Diagrama de resistencias térmicas, calor ganado.



Fuente: elaboración propia

Cuadro 10. Propiedades del acero inoxidable (AISI 304).

Constante	Representación	
Espesor acero inoxidable	e1	0,001 [m]
Conductividad térmica	K1	16 w/(m*K)

Fuente: CARBONE STAINLESS STEEL. Ficha técnica del acero inoxidable. {En línea}. {32 de julio de 2020} disponible en: (<https://www.empresascarbone.com/pdf/ficha-tecnica-del-acero-inoxidable.pdf>)

Cuadro 11. Propiedades del poliuretano expandido.

Constante	Representación	
Espesor poliuretano expandido	e2	0,05 [m]
Conductividad térmica	K2	0,039 w/(m*K)

Fuente: 3M. Espuma de Poliuretano. {En línea} {2 de agosto de 2020}. Disponible en: (<https://multimedia.3m.com/mws/media/1227527O/espuma-de-poliuretano.pdf>)

$$\dot{Q}_{gp} = (u_{gp} * A_p * \Delta t) + Q_{mp}$$

$$u_{gp} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{2 * e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{\frac{1}{17.446} + \frac{2 * 0.001}{16} + \frac{0.05}{0.039} + \frac{1}{8.141}}$$

$$u_{gp} = 0.684 \left[\frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$A_p = 0.5 * 0.4 + (0.3 * 0.4 * 2) + (0.3 * 0.5 * 2) = 0.74 [m^2]$$

$$\Delta t = 40 - 16 = 24 [^\circ C]$$

$$Q_{gp} = 0.684 * 0.74 * 24 = 12.15 W$$

El calor ganado por el marco de la puerta (Qmp) se calcula de la siguiente forma.

$$Q_{mp} = u_{gp} * (A_p - A_v) * \Delta t = 0.684 * (0.2 - 0.12) * 12 = 0.66$$

$$Q_{mp} = 0.684 * (0.2 - 0.12) * 24 = 1.32 w$$

$$Q_{gp} = 12.15 + 1.32 = 13.47$$

✓ Calor ganado por iluminación [QI]

La cámara cuenta con iluminación propia al interior, por lo tanto, se calcula la carga generada por esta, suponiendo que la potencia de la lámpara se transforma en calor sensible.

La siguiente ecuación fue tomada del capítulo 28 del Fundamentals Non residential cooling and heating load calculation de ASHRAE.

W =Potencia de la lámpara (8 vatios)

F_u =Factor de uso (1)

F_{sa} = Factor de asignación especial (1.3)

$$Q_l = W * F_u * F_{sa} * N_{lamparas}$$

$$Q_l = 8 * 1 * 1.3 * 1 = 10.4 [w]$$

✓ Calor ganado por los ventiladores [Q_f]

La fórmula para hallar la carga térmica generada por los ventiladores se toma del libro Cooling and Heating Load Calculation Manual de la ASHRAE.

$$Q_f = P_e * F_{um} * F_{lm} * N_{ventidores} = 2.2 * 1 * 1 * 3$$

P_e = Potencia entrada del motor en watts

F_{um} =factor de uso

F_{lm} =factor de carga del motor

$$Q_f = 6.6[w]$$

✓ Calor al interior de la cámara [Q_e]

$$Q_e = \frac{M_{aire} * C_v * (\Delta t)}{tiempo}$$

$$M_{aire} = \rho * V_{camara} = 1.176 * (0.5 * 0.4 * 0.3) = 0.071[kg]$$

$$C_v = 718 \left[\frac{J}{kg * ^\circ C} \right] \quad \Delta t = 40 - 16 = 24[^\circ C] \quad tiempo = 900[s]$$

$$Q_e = (0.071 * 718 * 24) / 900 = 1.36 [w]$$

✓ Calor total subsistema de refrigeración [\dot{Q}_T]

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{gv} + \dot{Q}_{gp} + \dot{Q}_l + \dot{Q}_f + \dot{Q}_e$$

$$Q_t = 15.3 + 13.47 + 10.4 + 6.6 + 1.36 = 47.13 \text{ [w]}$$

Como se mencionó anteriormente, la tecnología implementada para generar la refrigeración, consiste en el fenómeno Peltier, una vez obtenidos los valores de carga a extraer de la cámara se procede a hacer la selección de la celda adecuada.

Figura 10. Especificaciones celda peltier.

CUI DEVICES


date 10/30/2019


page 1 of 6

SERIES: CP30 | **DESCRIPTION:** PELTIER MODULE

FEATURES

- solid state device
- small and lightweight
- precise temperature control
- quiet operation





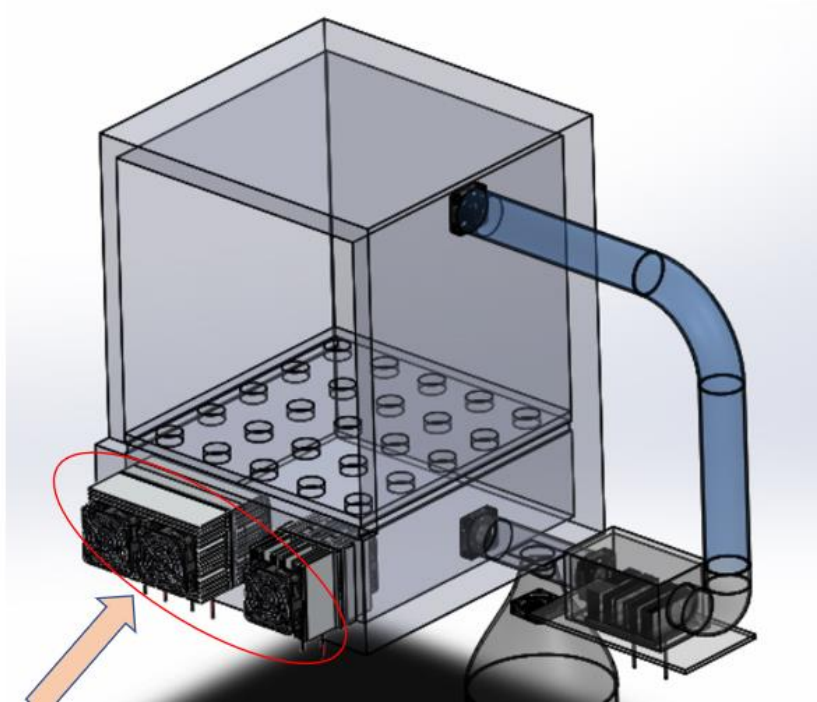
MODEL	input voltage max (V)	input current max (A)	output Qmax ¹		output ΔTmax ²	
			T _s =27°C (W)	T _s =50°C (W)	T _s =27°C (°C)	T _s =50°C (°C)
CP30138	3.8	3	6.5	7.2	66	72
CP30238	8.6	3	15	16.7	66	72
CP30338	15.4	3	27	30.1	66	72

Notes: 1. maximum cooling capacity at I_{max}, V_{max}, and ΔT=0°C
 2. maximum temperature difference at I_{max}, V_{max}, and Q=0W (maximum parameters are measured in a vacuum)

Fuente: CUI DEVICES. Peltier Module. {En línea}. {2 de agosto de 2020}.
 Disponible en: (<https://www.cuidevices.com/product/resource/cp30.pdf>)

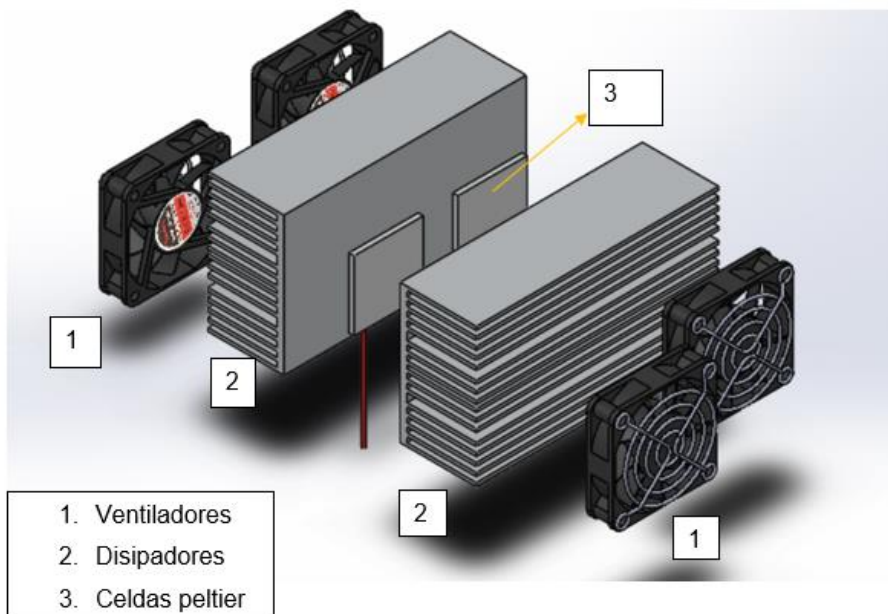
Se seleccionan tres (3) módulos Peltier de la serie CP30 el modelo CP30238 de la empresa CUI DEVICES, el cual cumple con los requerimientos establecidos anteriormente.

Figura 11. Ubicación del subsistema de refrigeración



Fuente: elaboración propia

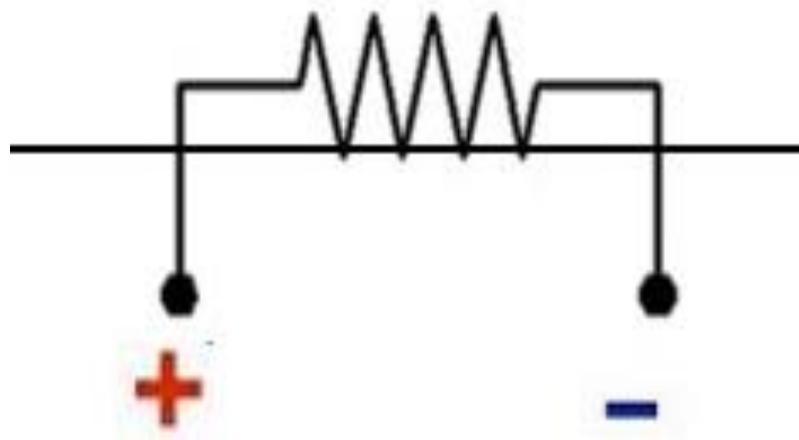
Figura 12. Vista explosionada subsistema de refrigeración



Fuente: elaboración propia

3.2.3 Subsistema de calefacción Para la calefacción, el sistema seleccionado consiste en resistencias eléctricas planas, estas se encargan de transformar la energía eléctrica en calor y llevar la temperatura en el interior de la cámara hasta su límite superior. Las resistencias eléctricas se adaptan al sistema gracias a su potencia en la generación de calor, el espacio que ocupa y la rapidez con la cual puede aumentar la temperatura.

Figura 13. Subsistema de calefacción.

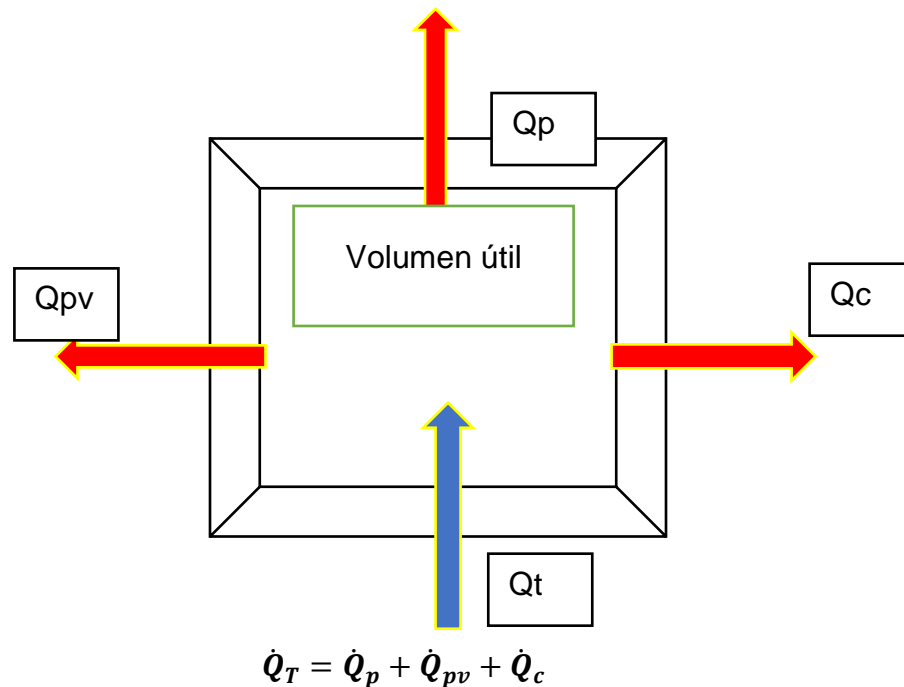


Fuente: FISICA LAB. Resistencia Electrica. {En línea}. {5de agosto de 2020}.
Disponible en: (<https://www.fisicalab.com/apartado/resistencia-electrica-conductor>)

De manera similar al análisis de refrigeración, se estiman los valores cuantitativos de las diferentes cargas térmicas que deben retirarse del interior del volumen útil. A continuación, se describen las diferentes formas.

- Calor perdido por paredes (Q_p)
- Calor perdido por la puerta de vidrio (Q_{pv})
- Calor para elevar la temperatura en la cámara (Q_c)

Figura 14. Flujo de pérdidas de calor.



Fuente: elaboración propia

Mediante un análisis en la transferencia de calor y masa se logran estimar los valores cuantitativos de los distintos tipos de cargas térmicas que se deben retirar al interior de la cámara, descritos anteriormente.

Cuadro 12. Calores estimados para elevar temperatura.

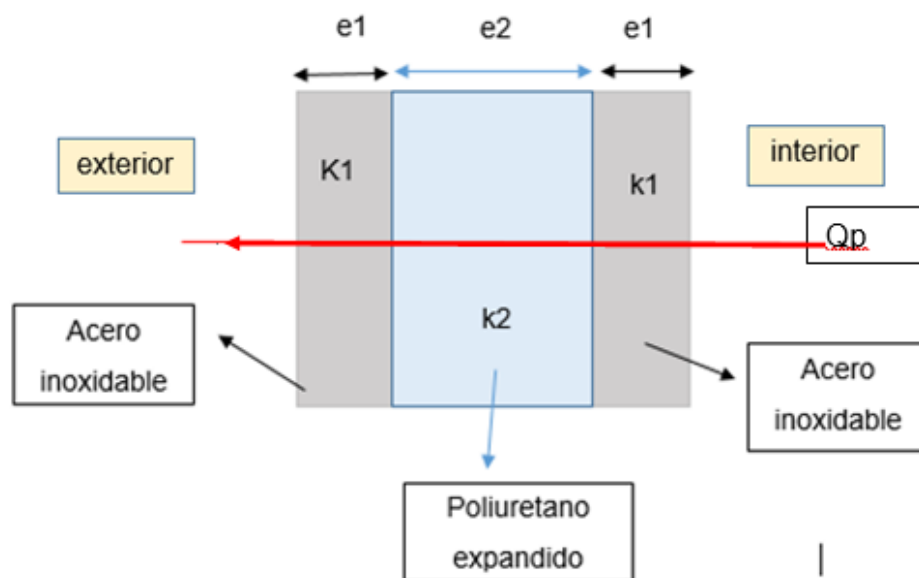
Calor	Watts
Qp	11.03
Qpv	5.64
Qc	2.07
Qt	18.8

Fuente: elaboración propia

✓ Calor perdido por paredes (Q_p)

Las paredes de la cámara climática son construidas en forma de sándwich (acero, poliuretano expandido, acero). Como se muestra en la figura 16, el calor (Q_p) fluye hacia el exterior atravesando los diferentes materiales.

Figura 15. Diagrama resistencias térmicas.



Fuente: elaboración propia

Para calcular los coeficientes térmicos (hint, hext), se utilizan las correlaciones de convección natural para el caso en el que T_w (temperatura de pared) es uniforme en toda la superficie.

Las ecuaciones utilizadas para este cálculo se obtuvieron del libro transferencia de calor y masa de YUNUS A. CENGEL

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_w - T_{amb}) * L^3}{\nu^2}$$

$$g = 9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad T_w = 40^\circ C$$

$T_w = 21^\circ C$ temperatura mínima promedio en bucamanga

Mediantes las tablas de propiedades del aire a 1 atm:

$$\beta = -\left(\frac{1}{\rho}\right) * \left(\frac{\rho_{amb} - \rho}{T_{amb} - T}\right) = -\left(\frac{1}{1,127}\right) * \left(\frac{1,204 - 1,127}{20 - 40}\right) = 3,416 * 10^{-3} \left[\frac{1}{^{\circ}C}\right]$$

Para el hext T=21°C, mediante tablas:

$$Pr = 0,7309 \quad K = 0,02514 \left[\frac{W}{m * K}\right] \quad \vartheta$$

$$= 1,516 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_w - T_{amb}) * L^3}{\nu^2} = \frac{9,81 * 34,16 * 10^{-4} * (40 - 21) * 0,4^3}{(1,516 * 10^{-5})^2}$$

$$= 186,637 * 10^6$$

$$Gr * Pr = 136,413 * 10^6 \quad \text{flujo laminar}$$

$$Nu = 0,59 * (136,413 * 10^6)^{\frac{1}{4}} = 63,7626$$

$$h_{ext} = \frac{Nu * K}{L} = \frac{63,7626 * 0,02514}{0,4} = 4 \left[\frac{W}{m^2 * ^{\circ}C}\right]$$

Para el hint T=40°C, mediante tablas:

$$Pr = 0,7255 \quad K = 0,0266 \left[\frac{W}{m * K}\right] \quad \vartheta$$

$$= 1,702 * 10^{-5} \left[\frac{m^2}{s}\right]$$

$$Gr = \frac{g * \beta * (T_w - T_{amb}) * L^3}{\nu^2} = \frac{9,81 * 34,16 * 10^{-4} * (40 - 21) * 0,4^3}{(1,702 * 10^{-5})^2}$$

$$= 140,67 * 10^6$$

$$Gr * Pr = 102 * 10^6 \quad \text{flujo laminar}$$

$$Nu = 0,59 * (102 * 10^6)^{\frac{1}{4}} = 59,3$$

$$h_{int} = \frac{Nu * K}{L} = \frac{59,3 * 0,02662}{0,4} = 3,95 \left[\frac{W}{m^2 * ^{\circ}C}\right]$$

El coeficiente global de transferencia de calor queda:

$$u_{gp} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{2 * e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{\frac{1}{3,95} + \frac{2 * 0,001}{16} + \frac{0,05}{0,039} + \frac{1}{4}} = 0,56$$

Calor perdido por el marco de la puerta

$$Q_{mp} = 0,56 * (0,2 - 0,12) * 24 = 1,08 \text{ w}$$

$$A_p = 0,5 * 0,4 + (0,3 * 0,4 * 2) + (0,3 * 0,5 * 2) = 0,74 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\dot{Q}_p = (u_{gp} * A_p * \Delta t) + Q_{mp} = (0,56 * 0,74 * 24) + 1,08 = 11,03 \text{ [W]}$$

✓ Calor perdido por la puerta de vidrio (Q_{pv})

Las propiedades del vidrio ya fueron se encuentran en la tabla 8.

$$u_{pv} = \frac{1}{\frac{1}{h_{int}} + \frac{e}{k} + \frac{1}{h_{ext}}} = \frac{1}{\frac{1}{3,95} + \frac{0,06}{0,8} + \frac{1}{4}} = 1,958$$

$$\dot{Q}_{pv} = (u_{pv} * A_{pv} * \Delta t) = 1,958 * 0,12 * (40 - 16) = 5,64 \text{ [W]}$$

✓ Calor para calentar la cámara a 40°C (Q_c)

Se establece un tiempo máximo de 2 minutos para que la cámara alcance la temperatura máxima en el interior de ella.

$$Q_e = \frac{M_{aire} * C_v * (\Delta t)}{\text{tiempo}}$$

$$M_{aire} = \rho_{21^\circ\text{C}} * V_{camara} = 1,2 * (0,5 * 0,4 * 0,3) = 0,072 \text{ [kg]}$$

$$C_v = 718 \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}} \right] \quad \Delta t = 40 - 16 = 24 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad \text{tiempo} = 600 \text{ [s]}$$

$$Q_c = \frac{0,072 * 718 * 24}{600} = 2,07 \text{ [w]}$$

✓ Calor total subsistema de calefacción [Q_t]

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_p + \dot{Q}_{pv} + \dot{Q}_c$$

$$\mathbf{Q_t = 11,03 + 5,64 + 2,07 = 18,8 \text{ W}}$$

Como se menciona en el diseño conceptual, para la generación del calor, se hace uso de una resistencia eléctrica plana, la cual se encargará de elevar la

temperatura hasta el límite superior requerido. Con el valor total de carga térmica que se pierde en la cámara, se procede a hacer la debida selección de la resistencia adecuada mediante catálogo de fabricante.

Figura 16. Datos técnicos resistencia eléctrica.

DATOS TÉCNICOS

Elemento de calefacción	elemento resistivo
Limitador de temperatura	para proteger contra el sobrecalentamiento, reinicio automático
Radiador	perfil de aluminio
Temperatura de superficie	máx. +150 °C a +25 °C (+77 °F) de temperatura ambiente
Conexión	cable de silicona (libre de halógenos) 3 x 0,75 mm ² (3 x WG 18), 1 m de largo
Carcasa de conexión	plástico según UL94 V-0, negro
Fijación	fijación por tornillos (M6)
Posición de montaje	horizontal, conexión variable o vertical, conexión en la parte inferior
Dimensiones	L x 100 x 8 mm
Temp. almacenamiento	-40 a +85 °C (-40 a +185 °F)
Humedad de servicio/almacenamiento	máx. 90 % RH (sin condensación)
Grado/Clase de protección	IP30 / I (conductor de protección)

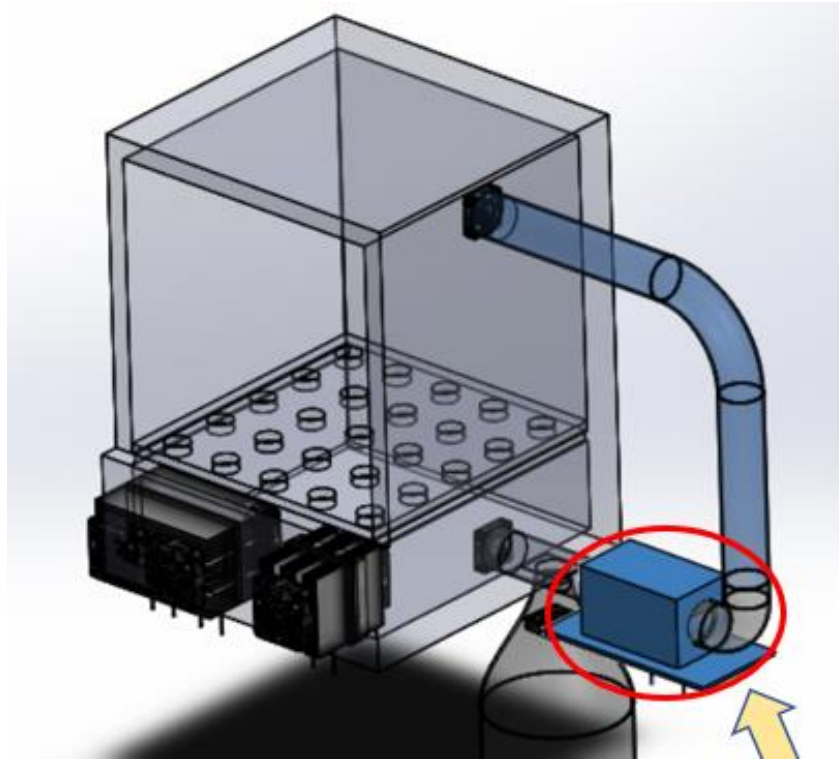
Ejemplo de conexión

Art. No.	Tensión de alimentación	Potencia de calefacción	Longitud (L)	Distancia entre agujeros (X)	Peso (aprox.)	Temp. servicio	Homologaciones
06100.0-00	AC 230 V, 50/60 Hz	50 W	239 mm	225 mm	0,4 kg	-40 a +60 °C (-40 a +140 °F)	VDE EAC
06101.0-00	AC 230 V, 50/60 Hz	100 W	414 mm	400 mm	0,7 kg	-40 a +60 °C (-40 a +140 °F)	VDE EAC
06100.9-00	AC 120 V, 50/60 Hz	50 W	239 mm	225 mm	0,4 kg	-40 a +40 °C (-40 a +104 °F)	UL EAC
06101.9-00	AC 120 V, 50/60 Hz	100 W	414 mm	400 mm	0,7 kg	-40 a +40 °C (-40 a +104 °F)	UL EAC

Fuente: STEGO. Resistencia plana CP 061. {En línea}. {10 de agpstp de 2020} disponible en: https://www.stegotronic.es/fileadmin/Languages/Spanish/CP061_ES.pdf

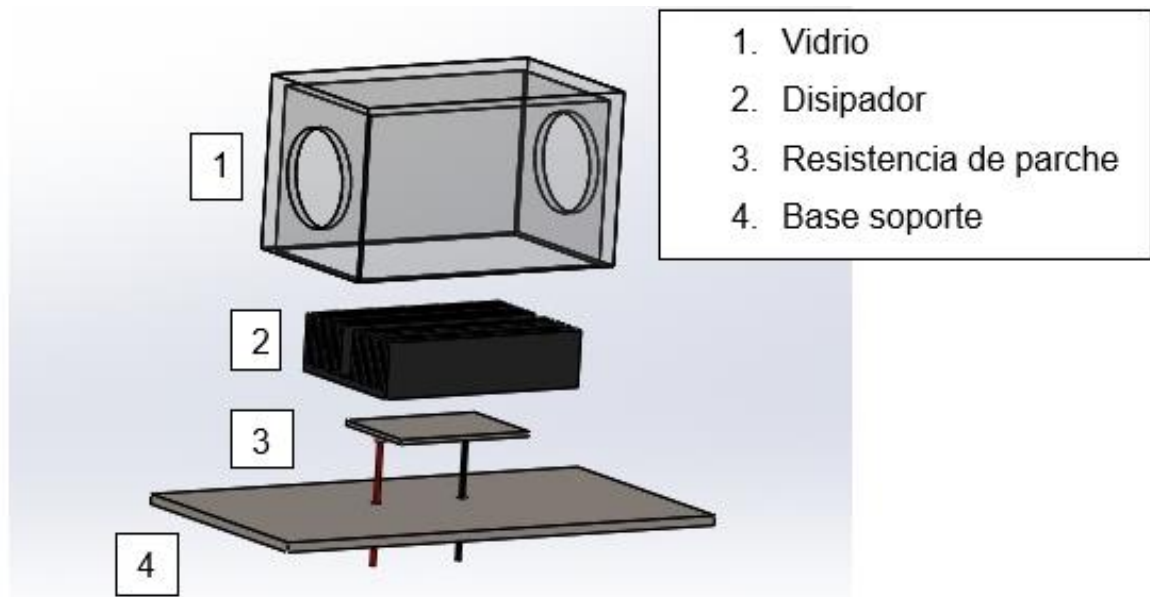
Se selecciona la resistencia calefactora plana CP 061, art. No. 06100.9-00 de la empresa STEGO, el cual cumple con los requerimientos establecidos anteriormente.

Figura 17. Ubicación subsistema de calefacción



Fuente: elaboración propia

Figura 18. Explosionado Subsistema de calefacción

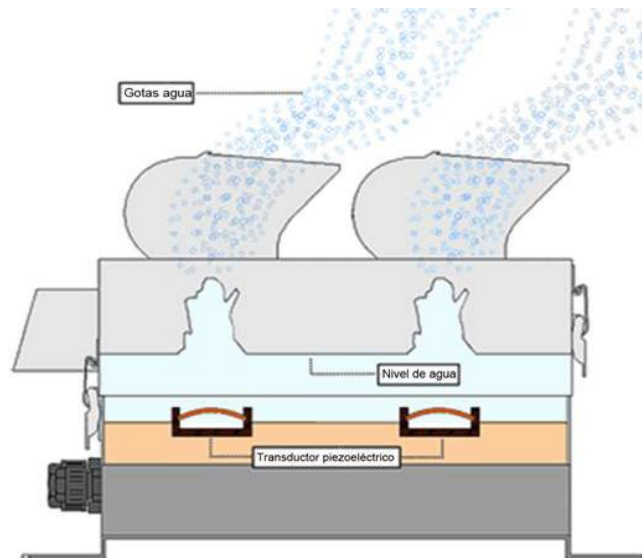


Fuente: elaboración propia

3.2.4 Subsistema de humidificación Para elevar la humedad al interior de la cámara se selecciona la humidificación por ultrasonido, debido a su factible modo de uso y el poco espacio que ocupa, su creación de niebla nos garantiza que la humedad relativa alcance el estado requerido en corto tiempo. Otro aspecto importante de este dispositivo es que han sido diseñados para humidificar y enfriar el aire, minimizando el consumo de energía.

Los humidificadores ultrasónicos producen diminutas gotas de agua de un tamaño de entre 1 y 3 micras a través de vibraciones de muy alta frecuencia (1,7MHz) de unos transductores piezoeléctricos, generando una niebla que aporta las condiciones deseadas de humedad en el área donde se aplique sin riesgo de condensación.

Figura 19. Subsistema humidificador ultrasonido.



Fuente: BIOAZUL. Tecnología. {En línea}. {10 de agosto de 2020} disponible en: (<https://www.bioazul.com/como-funciona-el-humidificador-ultrasonico/>)

En la selección del humidificador adecuado para la aplicación que se desea realizar, es necesario calcular la masa de vapor requerida por el ambiente.

Gracias al diagrama psicrométrico de la figura 21, en el cual se encuentra plasmado el proceso que ocurre al interior de la cámara climática, se puede obtener W (humedad absoluta: kg vapor de agua/ kg de aire seco) en cada punto del proceso, factor que es necesario agregar al ambiente a humidificar para alcanzar la humedad relativa deseada.

Así, utilizando la siguiente fórmula se consigue la masa de vapor necesaria.

$$m = V * \rho * (W_f - W_i)$$

m = masa de vapor necesario en el ambiente en Kg

V = volumen de la cámara en m^3

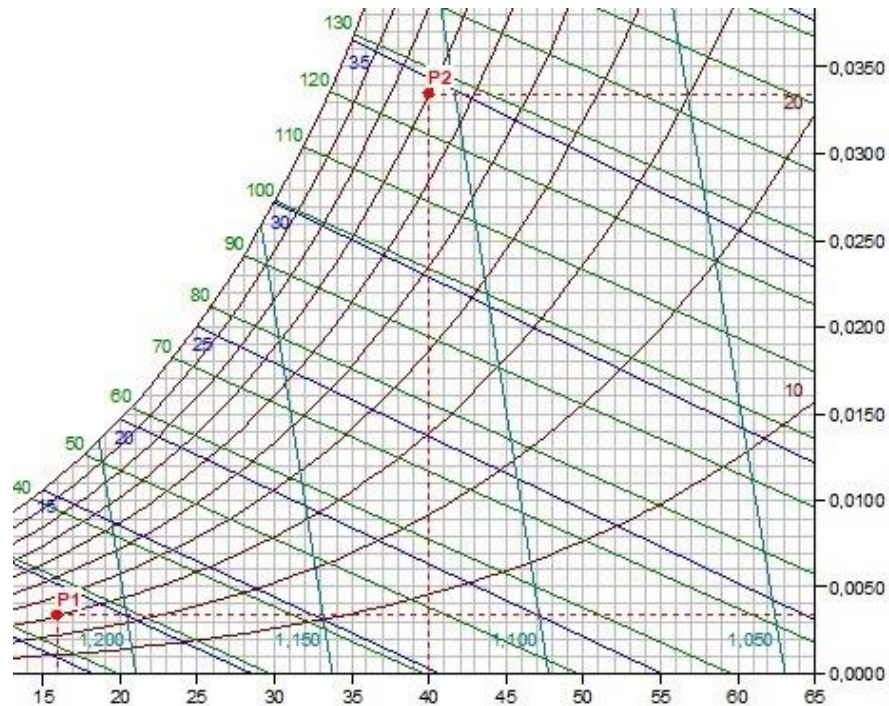
ρ = densidad del aire en kg/m^3 (condiciones ambientales)

W_i = Humedad absoluta del aire a humidificar (P2) en $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire seco}} \right]$

W_f = Humedad absoluta deseada en el ambiente (P3) en $\left[\frac{Kg \text{ de agua}}{Kg \text{ de aire seco}} \right]$

$$m = 0,06 * 1.184 * (0,0334 - 0,0034) = 0.002 [kg \text{ de agua}] = 2 [gr \text{ de agua}]$$

Figura 20. Puntos extremos humedad, diagrama psicrométrico



Fuente: elaboración propia, calculado por medio de psychrometrics program by daikin.

Cuadro 13. Condiciones de puntos extremos humedad

P1		P2	
Temperatura bulbo seco	16,0°C	Temperatura bulbo seco	40,0°C
Temperatura bulbo húmedo	8,0°C	Temperatura bulbo húmedo	34,6°C
Punto de rocío	-1,4°C	Punto de rocío	33,4°C
Humedad relativa	30,0%	Humedad relativa	70,0%
Humedad absoluta	0,0034kg/kg	Humedad absoluta	0,0334kg/kg

Fuente: Elaboración propia, calculado por medio de psychrometrics program by daikin.

Como la capacidad de difusión del humidificador por ultrasonido es de 90 gr por hora, es decir 1.5 gr por minuto esto indica que en minuto y medio puede llegar a alcanzar la humedad que se desee. se seleccionó un humidificador ultrasonico mist maker de una membrana.

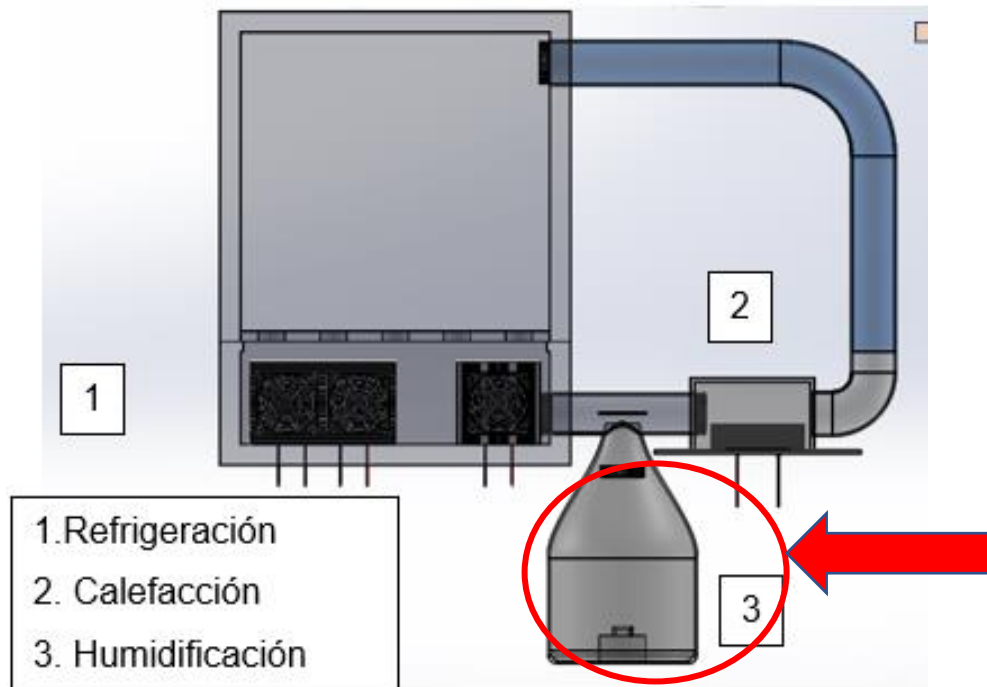
Figura 21. Datos técnicos humidificador por ultrasonido.



Características Principales:
Voltaje de entrada: AC24V
Consumo: <1.0A
Capacidad de difusión: 90ml/hora
Nivel de agua necesario: 50-60mm
Con certificado CE
Características del Transformador:
Voltaje de entrada: 230V
Voltaje de salida: AC24V
Intensidad de salida: 1.0A

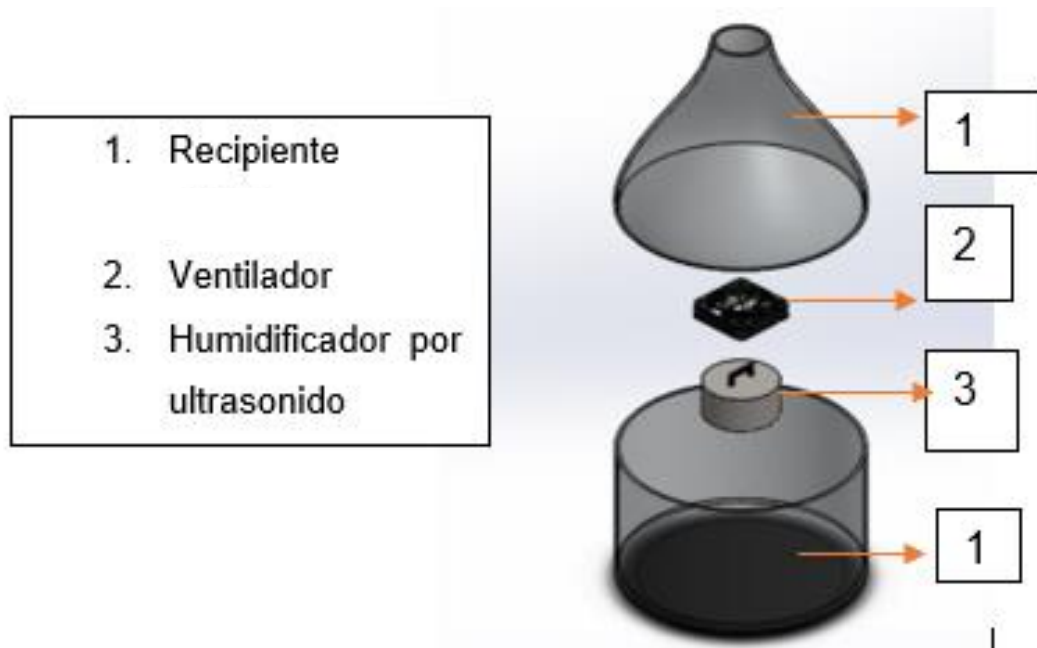
Fuente: SERVOVENDI. Humidificador ultrasónico. {En línea}. {20 de agosto de 2020}. Disponible en: (<https://www.servovendi.com/es/humidificador-de-aire-ultrasonico-mist-maker-1x-membrana-20mm-dk-24.html>)

Figura 22. Ubicación subsistema de Humidificación.



Fuente: elaboración propia

Figura 23. Vista explosionada subsistema de humidificación

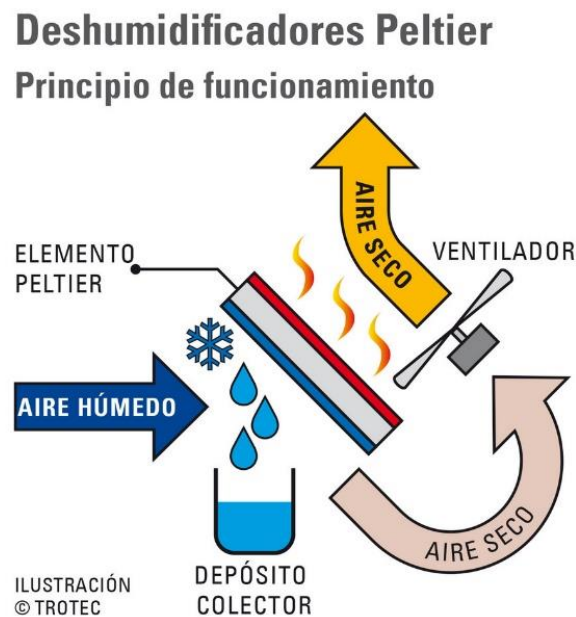


Fuente: elaboración propia

3.2.5 Subsistema de deshumidificación para lograr este fenómeno se debe procurar una superficie fría en el interior de la cámara climática cuya temperatura se sitúe por debajo del punto de rocío del aire y que pueda condensar el agua.

El efecto termoeléctrico también llamado efecto Peltier se usa para convertir la electricidad en una diferencia de temperatura a través de un módulo Peltier entre la cara caliente y la fría de hasta 70 °C. Por lo que, un lado del módulo se calienta, mientras que el otro lado del módulo se enfría. Esta diferencia de temperatura permite deshumidificar por condensación.

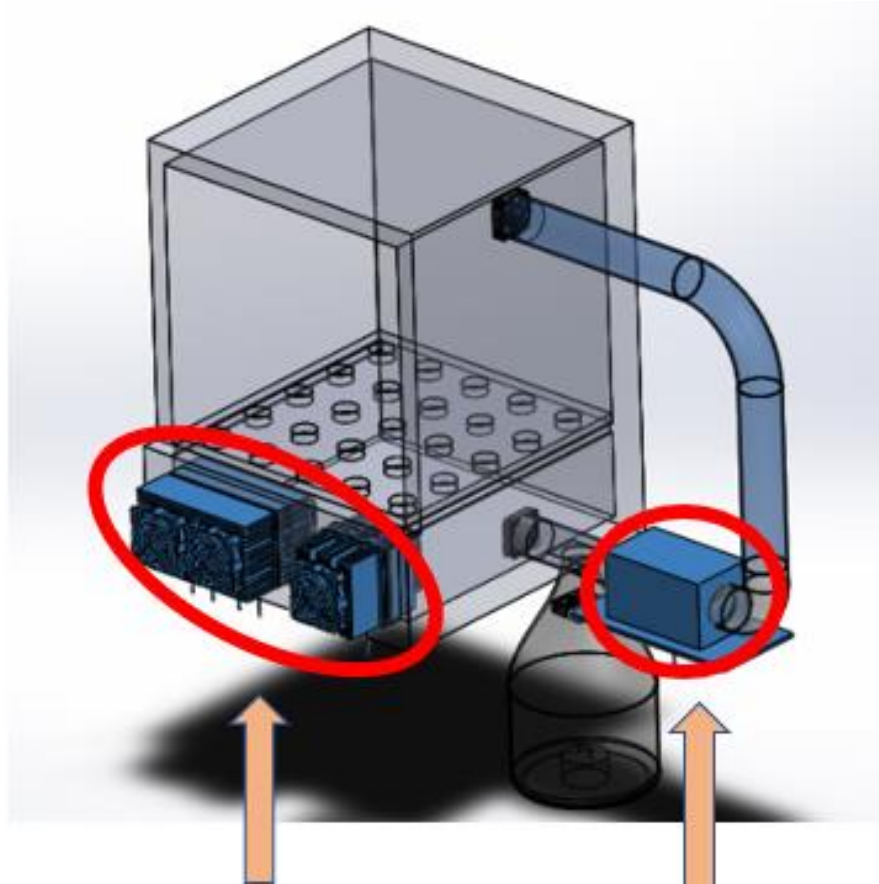
Figura 24. Diagrama funcionamiento deshumidificación por condensación.



Fuente: TROTEC. Secadores por condensación con tecnología peltier. {En línea}. {5 de septiembre de 2020}. Disponible en: <https://es.trotec.com/productos-y-servicios/maquinas-homecomfort/deshumidificadores/conocimientos-practicos-sobre-deshumidificadores/resumen-de-los-procesos-de-deshumidificacion/secadores-por-condensacion-con-tecnologia->

[peltier/#:~:text=En%20los%20secadores%20por%20condensaci%C3%B3n,goteando%20en%20un%20dep%C3%B3sito%20colector.%\)](#)

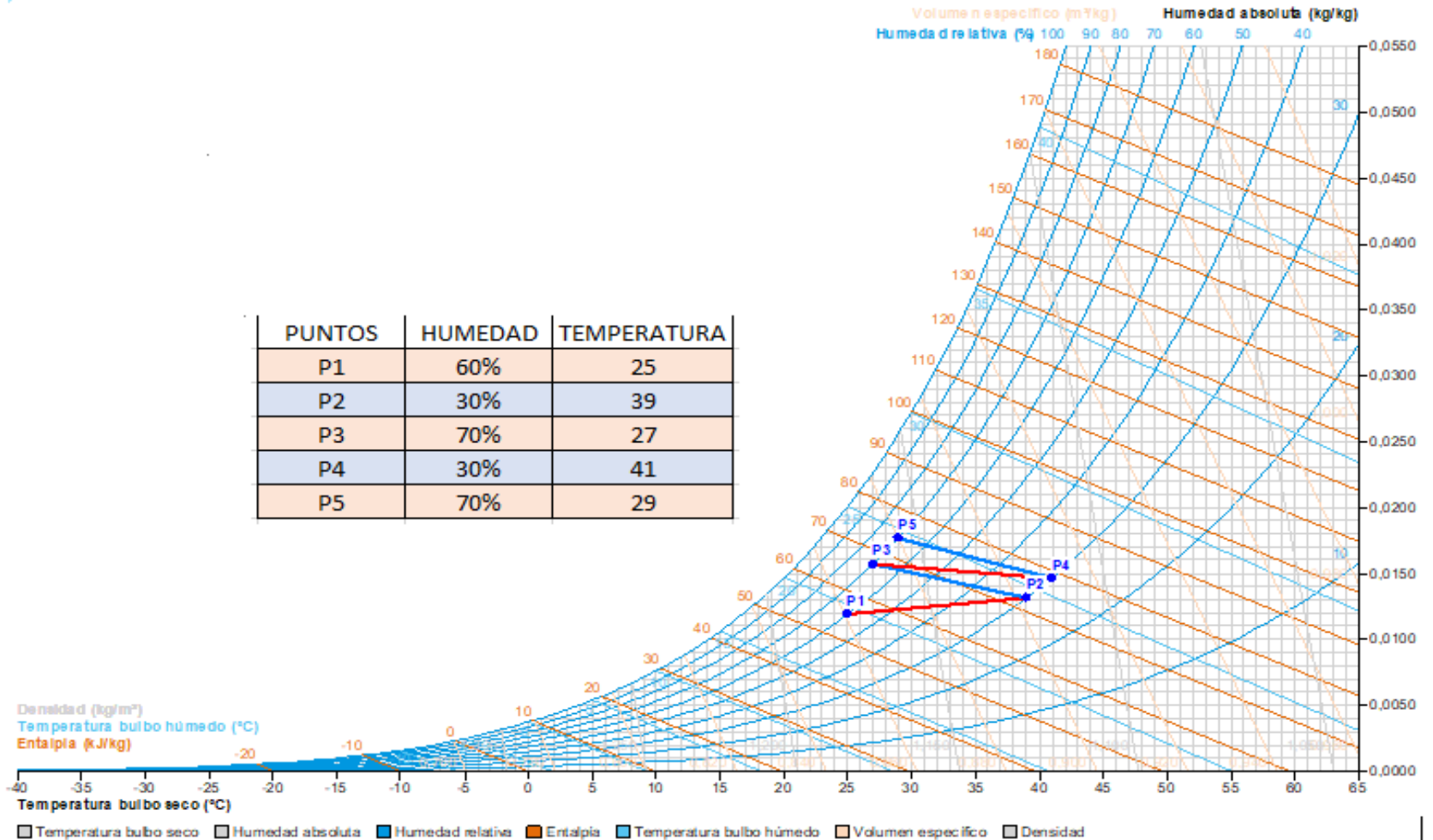
Figura 25. Ubicación sistema de deshumidificación.



Fuente: elaboración propia

Para lograr deshumidificar el aire al interior de la cámara se pone en funcionamiento los subsistemas de calefacción y refrigeración al mismo tiempo, esta combinación es posible gracias a que el proceso de calibración no exige controlar o mantener estable la temperatura en las pruebas de humedad relativa, si ese fuera el caso, se hace necesario implementar una rueda desecante para variar la humedad sin afectar la temperatura.

Figura 26. Comportamiento cámara climática en carta psicrométrica.



Fuente: elaboración propia a través de Software de acceso gratuito Daikin psychometrics diagram viewer.

3.2.6 Subsistema de control Al interior de la cámara se desea tener control de dos variables (temperatura y humedad relativa), las cuales permiten modificar las condiciones ambientales de la misma, estas condiciones son modificadas de manera independiente de acuerdo con lo establecido en las especificaciones del usuario.

Se usa un controlador completamente independiente correspondiente a las variables identificadas, para este fin se desea implementar en la cámara controladores de la marca full gauge debido a la precisión y garantía que nos ofrecen.

Figura 27. Full Gauge controls.



Fuente: FULL GAUGE. {En línea}. {5 de septiembre de 2020}. Disponible en: (<https://www.fullgauge.com/es/>).

Se implementa un controlador de la marca FULL GAUGE, tipo **MT-530E**, este posee tres salidas: una para control de temperatura, una para control de la humedad y una tercera salida auxiliar que actúa como una segunda etapa de control de temperatura, de humedad, alarma o timer (temporizador) cíclico.

Es indicado para baja y media humedad relativa del aire (de 10 a 85 % sin condensación) y presenta alarma sonora interna (buzzer). Sus sensores de temperatura y humedad están reunidos en un único bulbo, disminuyendo el

espacio y el cableado de la instalación. Incluye también un sistema inteligente de bloqueo de funciones, el cual impide que personas no autorizadas alteren los parámetros de control.

Figura 28. Especificaciones técnicas controlador.



3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Alimentación directa	MT-530E Super: 115 o 230 Vac $\pm 10\%$ (50/60 Hz) MT-530EL Super: 12 o 24 Vac/dc $+10\%$
Temperatura de control	-10 a 70.0 °C $\pm 1.5^\circ\text{C}$ (con resolución de 0.1°C) 14 a 158 °F $\pm 3^\circ\text{F}$ (con resolución de 1°F)
Temperatura de operación	0 a 50°C / 32 a 122°F
Humedad de control	10 a 85%HR $\pm 5\%$ HR (con resolución de 0.1%HR)
Humedad de operación	10 a 85% HR (sin condensación)
Corriente máxima por salida	Therm \uparrow : 16(8)A/250Vac 1HP Humid \uparrow : 5(3)A/250Vac 1/8HP Aux \square : 5(3)A/250Vac 1/8HP
Dimensiones (mm)	76 x 34 x 77 mm (AxAxP)
Dimensiones del recorte para fijación del instrumento	71 \pm 0,5 x 29 \pm 0,5 mm (vide ítem 5)

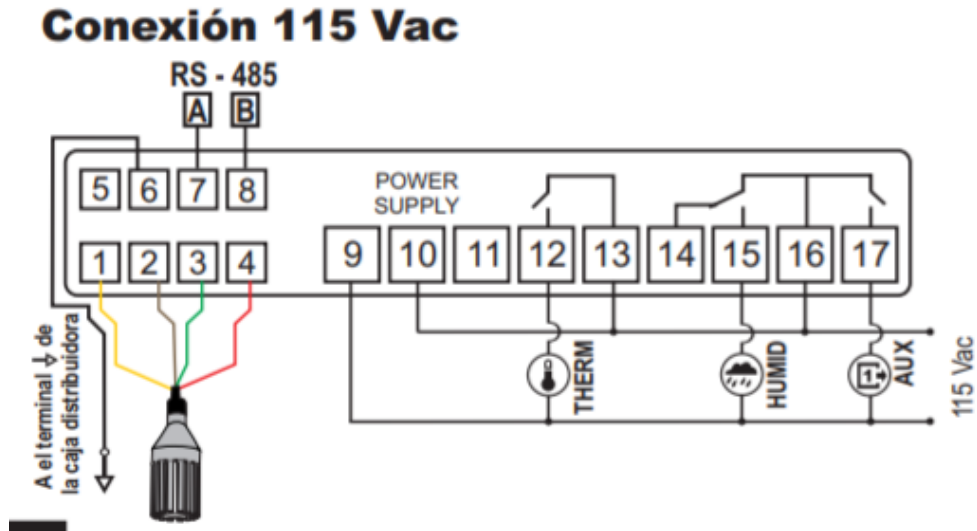
Fuente: FULL GAUGE. MT530. {En línea}. {15 de septiembre de 2020}.

Disponible en: (<https://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-116>).

A continuación se muestra el plano eléctrico y el cableado del control que se implementa en el dispositivo, las conexiones 1,2,3 y 4 son los puertos del bulbo sensor de humedad y temperatura, el puerto 9 y 10 se hace la conexión a la corriente alterna (110V), el puerto 10 se une con los puertos 12 y 16 de esta manera quedan “puenteados” para brindar la energía suficiente a cada uno de los actuadores, internamente el dispositivo cuenta con un

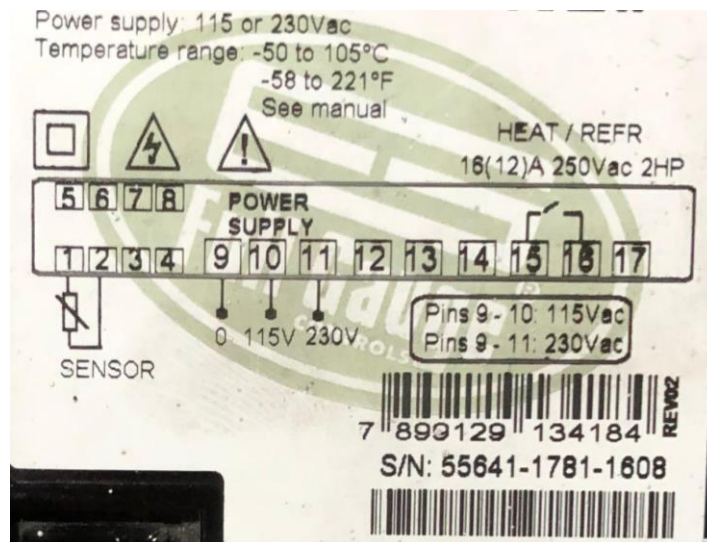
circuito electrónico el cual permite la conexión y desconexión de cada actuador.

Figura 29. Conexiones según manual de usuario MT 530e



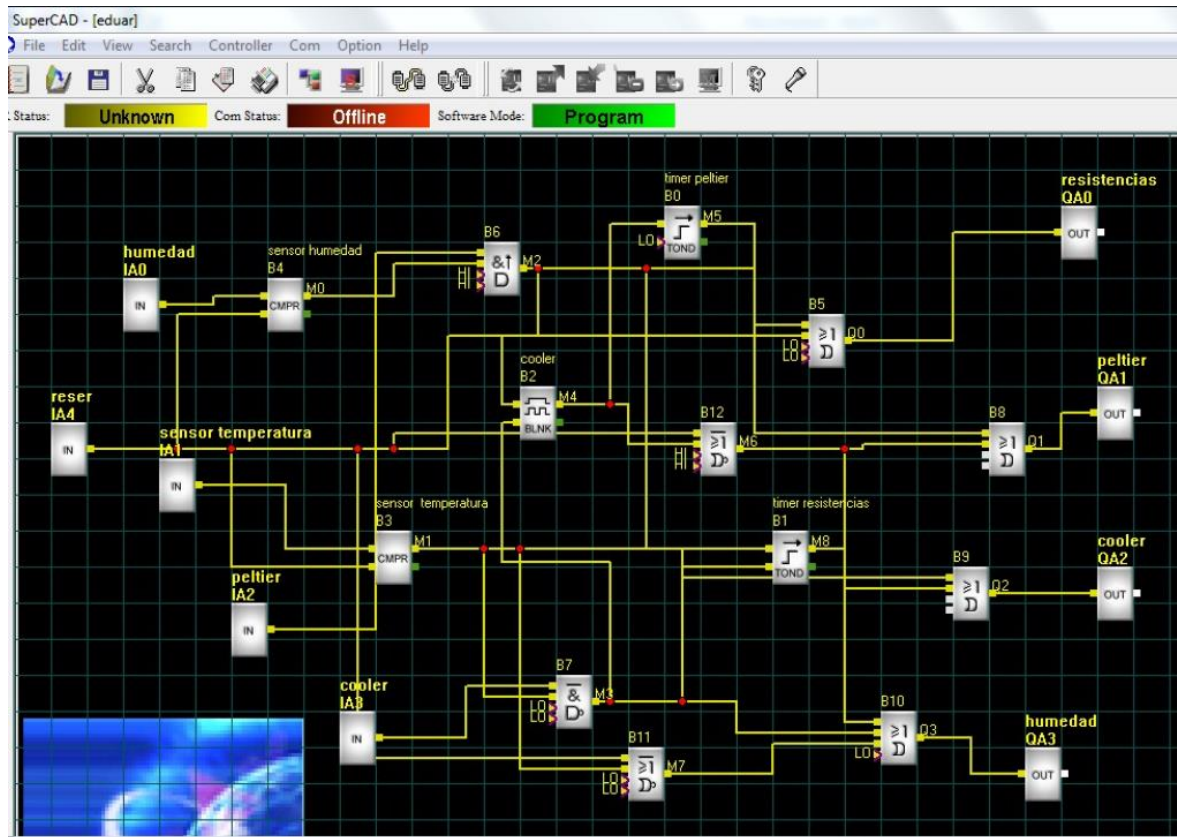
Fuente: FULL GAUGE. MT530. {En línea}. {15 de septiembre de 2020}.
Disponble en: (<https://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-116>).

Figura 30. Plano eléctrico impreso al respaldo del controlador



Fuente: elaboración propia

Figura 31. Programación por bloques de función - software superCAD.



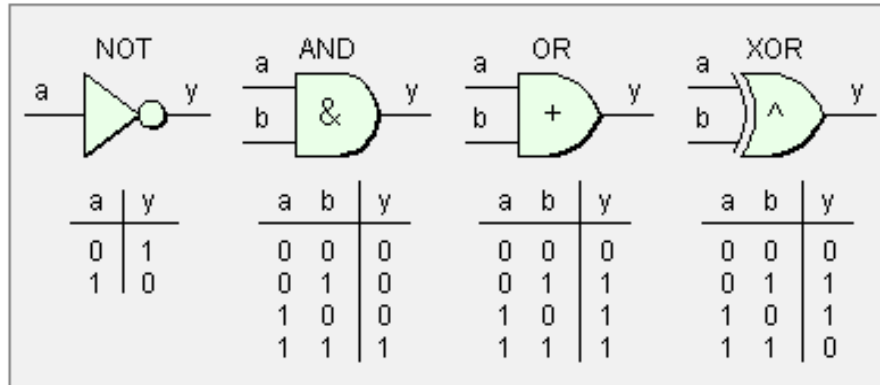
Fuente: elaboración propia

Los sensores de temperatura y humedad envían la señal hacia el PLC, según la lectura que hagan, este envía la señal hacia los actuadores ya sean celdas peltier, humidificador, ventiladores o resistencia eléctrica. La interfaz humano-maquina se realiza por medio del controlador MT-530e, dicho controlador trasmite los datos al PLC y este ejecuta la secuencia lógica correspondiente a la figura 32 desarrollada en SuperCAD.

- IN, entrada de cada señal a controlar, temperatura y humedad. Dichas señales son tomadas por el sensor y observables por el usuario por medio del MT530e.
- CMPR, Compara la señal de la cámara climática con la establecida por el usuario, según la necesidad se dará la orden a cada actuador para reducir la diferencia entre los valores comparados.

- TOND time on delay, tiempo retardo a la conexión.
- Para las operaciones lógicas and, or, not o xor se explicará de manera sencilla por medio de la figura 33, esta muestra según el valor de entrada como será su salida.

Figura 32. Operadores lógicos NOT, AND OR, XOR.



Fuente: EE TIMES. Línea de diseño de lógica programable. {En línea}.
 {15 de octubre de 2020}. Disponible en: (<https://www.eetimes.com/how-to-invert-three-signals-with-only-two-not-gates-and-no-xor-gates-part-1/#>)

4. CONSTRUCCION DEL PROTOTIPO FUNCIONAL A ESCALA

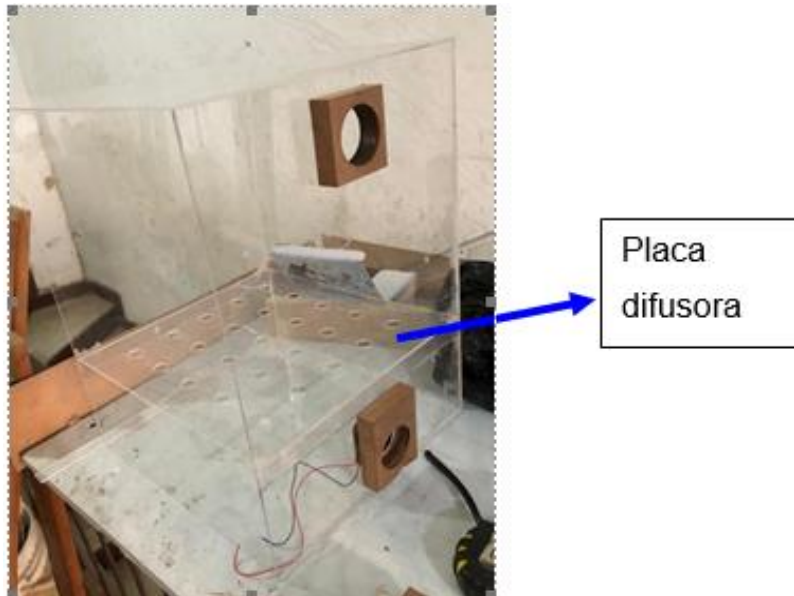
Debido a que la construcción del prototipo es costeada en su totalidad por los estudiantes, y que el presupuesto que se tiene es limitado, para la estructura de este dispositivo se utilizan materiales diferentes al diseño, pero permiten llevar a cabo el funcionamiento original de la cámara y las pruebas correspondientes.

El prototipo a escala posee un volumen útil de 27 litros con medidas internas de $0.3 \times 0.3 \times 0.3$ m

4.1 Estructura

La estructura del prototipo es construida en polimetilmetacrilato, comúnmente conocido como cristal de acrílico, las paredes son cortadas individualmente a la medida requerida y posteriormente ensambladas. La placa difusora, la cual separa el volumen útil con el ingreso del aire tratado a la cámara también es construida en cristal de acrílico.

Figura 33. Estructura prototipo funcional.



Fuente: elaboración propia

Para aislar la cámara se utiliza poliestireno expandido comúnmente conocido como icopor, las láminas son cortadas a medida de las paredes del dispositivo y ensambladas exteriormente alrededor de este

Figura 34. Aislante térmico prototipo funcional.



Fuente: elaboración propia

4.2 Refrigeración

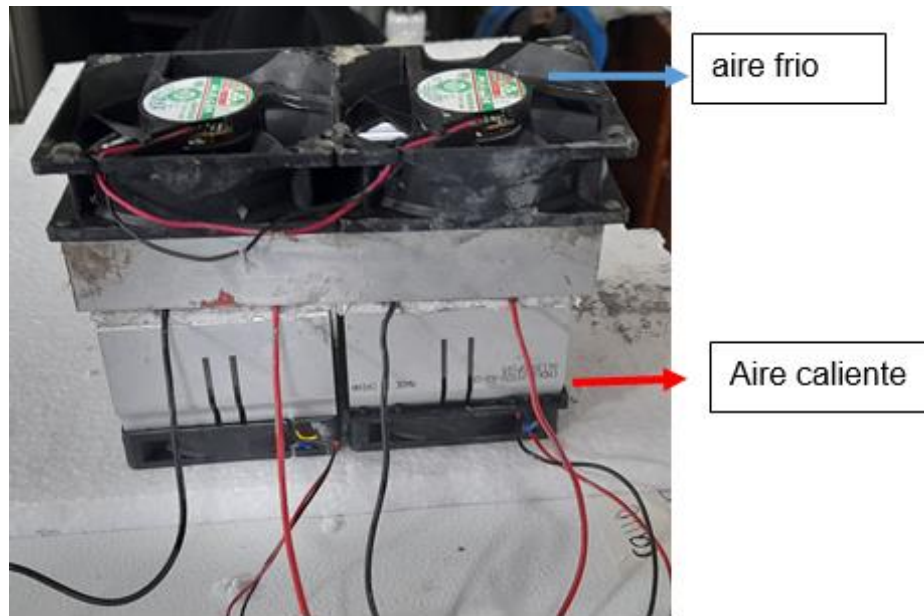
Para la instalación del subsistema de refrigeración se implementan tres (3) celdas peltier. La mayor eficiencia en el funcionamiento de las celdas peltier está relacionado con la diferencia de temperatura entre las dos superficies, es decir, a menor diferencia de temperatura entre las caras del módulo, mayor es la capacidad de retirar calor de la cámara climática, esta es la razón por la cual se instalan disipadores tanto del lado frío como del caliente. El ensamble del sistema de refrigeración se realiza en el orden que se describe en las siguientes imágenes tomadas del prototipo real.

Figura 35. Celdas peltier.



Fuente: elaboración propia

Figura 36. Montaje subsistema de refrigeración.



Fuente: elaboración propia

4.3 Calefacción

En este subsistema se hace uso de una resistencia plana o de parche y así se eleva la temperatura hasta el límite máximo requerido. Contiguo a la resistencia se ubica un dissipador, por el cual se hace circular el aire ambiente, este aumenta su temperatura e ingresa al volumen útil de la cámara. La cubierta del subsistema de calefacción se construye en vidrio,

aprovechando su capacidad de soportar las altas temperaturas que se manejan al interior de esta.

Figura 37. Resistencia eléctrica.



Fuente: elaboración propia

Figura 38. Subsistema de calefacción.

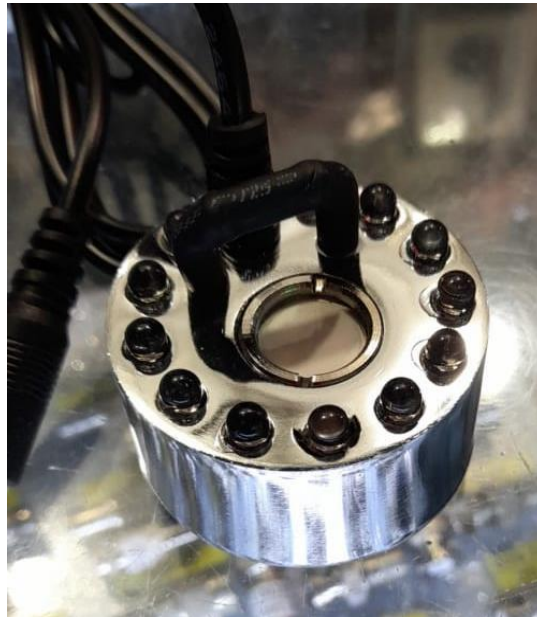


Fuente: elaboración propia

4.4 Humidificación

La humidificación del ambiente controlado, se lleva a cabo por medio del ultrasonido, el humidificador se encuentra sumergido en su totalidad en agua, este crea diminutas gotas de agua con vibraciones de muy alta frecuencia, la niebla formada es conducida por medio de una boquilla al interior del ducto que la transporta por el circuito en serie hasta el interior del volumen útil, de este modo aumenta la humedad de una manera eficiente.

Figura 39. Humidificador por ultrasonido.



Fuente: elaboración propia

4.5 Deshumidificación

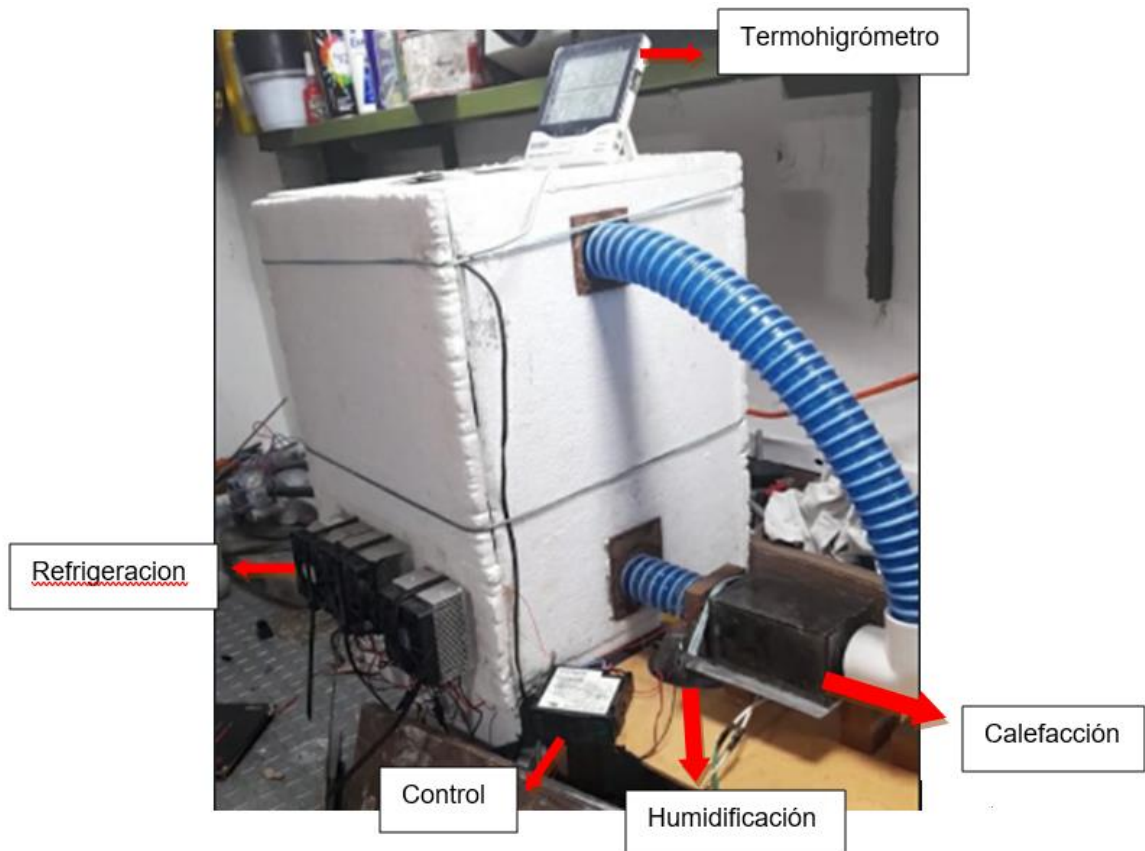
El ambiente interior se logra deshumidificar por medio de condensación, se hace uso del mismo sistema de refrigeración, es decir, tecnología peltier, el aire circula a través del disipador contiguo a la cara fría de las celdas, este alcanza una temperatura por debajo del punto de rocío condensando el agua.

Al tiempo que se activa el sistema de refrigeración también lo hace la calefacción, este funciona con pulsos a fin de subir la temperatura del aire seco hasta el punto ambiente o una temperatura cercana.

4.6 Montaje final

La construcción del prototipo se muestra a continuación, como se menciona en el diseño, la ruta del tratamiento del aire es un circuito en serie con una dirección de flujo establecida, los ductos son mangueras de aire vacío, y el aire de proceso es conducido a través del ducto por pequeños ventiladores de 4x4 cm.

Figura 40. Fotografía montaje final



Fuente: elaboración propia

5. VIABILIDAD ECONOMICA DEL PROYECTO

Para la realización del estudio de la viabilidad económica de esta tesis de grado se tiene en cuenta que la financiación del proyecto se divide en las tres partes interesadas: Universidad Industrial de Santander – UIS, elaboración propia, Entidades Prestadoras de Salud – EPS.

Cuadro 14. Inversión económica de cada participante.

	INVERSION
EPS	\$ 5.202.500
UIS	\$ 27.718.421
AUTORES	\$ 11.400.000

Fuente: elaboración propia

En un análisis más detallado de la distribución de costos, se encuentra que estos están clasificados en sus diferentes dimensiones, también se describe específicamente el gasto y su costo total, del mismo modo se adjudica el financiamiento de este.

Cuadro 15. Presupuesto detallado.

	Item	Valor	Cantidad	Total	Financiamiento
personal	Honorarios	1800000	6	\$ 10.800.000	Autores
	Transportes	50000	6	\$ 300.000	Autores
	Viaticos	50000	6	\$ 300.000	Autores
asesorias	Asesoría legal	350000	2	\$ 700.000	UIS
	Asesoría ingenieril	250000	4	\$ 1.000.000	UIS
Papelería	Fotocopias	100	200	\$ 20.000	EPS
	Libros	400000	4	\$ 1.600.000	UIS
	Bibliografía	30000	6	\$ 180.000	UIS
materiales	Placas peltier	60000	4	\$ 240.000	EPS
	Acero Inoxidable	1200000	1	\$ 1.200.000	EPS
	Controlador	480000	1	\$ 480.000	EPS
	resistencia termica	20000	1	\$ 20.000	EPS
	disipadores de calor	15000	5	\$ 75.000	EPS
	humidificador ultrasonico	80000	1	\$ 80.000	EPS
	cableado	50000	1	\$ 50.000	EPS
	silica gel	40000	1	\$ 40.000	EPS
	ventiladores	10000	5	\$ 50.000	EPS
	tubería	50000	2	\$ 100.000	EPS
	soldadura	300000	1	\$ 300.000	EPS
	fuelle DC	50000	1	\$ 50.000	EPS
	rueda desecante	350000	1	\$ 350.000	EPS
	poliuretano expandido	40000	3	\$ 120.000	EPS
	otros	1000000	1	\$ 1.000.000	EPS
Software	Solidwoks	24238421	1	\$ 24.238.421	UIS
	Programación	250000	2	\$ 500.000	EPS
Imprevistos	10% de gastos	\$ 5.275.000	0,1	\$ 527.500	EPS
			Total	\$ 44.320.921	

Fuente: elaboración propia

Mediante la tabla anterior se observa que el costo correspondiente para la EPS interesada en esta tesis de grado alcanza un valor de \$5'202.500 COP. El precio comercial de una cámara climática con características similares, fabricada en una empresa de origen alemán, líder en innovación en lo referente al desarrollo de cámaras climáticas – MEMMERT, es de 11885.00 €, en precio colombiano al momento de presentar esta tesis equivale a un costo de \$51'504.477 COP.

Cuadro 16. Comparativa de precios, tesis frente a valor comercial.

PRECIO TESIS	PRECIO COMERCIAL
5.202.500 COP	51.504.477 COP

Fuente: elaboración propia

Es de notar que este proyecto está fundamentado en impulsar la autonomía de las EPS en la calibración de sus dispositivos de medición, en este caso termohigrómetros, por esto además de los costos que se logran reducir en la adquisición de la cámara climática, también se está reduciendo en gran manera los costos adicionales que conllevan la logística de trasladar los implementos desde la entidad hacia a los centros de calibración.

6. MANUAL DE INSTRUCCIONES Y FUNCIONAMIENTO

6.1 Objetivo

Brindar soporte al personal técnico encargado de la calibración de termohigrómetros, con información clara y concisa sobre instrucciones en el proceso de funcionamiento del dispositivo.

6.2 Normas de seguridad

En estas instrucciones se utilizan de forma recurrente determinados conceptos y símbolos con el fin de advertir riesgos y ofrecer indicaciones importantes para evitar lesiones y daños. A continuación, se presenta la explicación de dichos conceptos y símbolos.






6.3 Términos empleados

“Advertencia”: se utiliza en caso de que el personal pueda resultar lesionado como consecuencia de no obedecer la norma de seguridad correspondiente.

“Atención”: se utiliza para ofrecer información importante con el fin de evitar daños.

6.4 Símbolos empleados

Figura 41. Símbolos empleados en el manual.

Señales de prohibición (prohíben realizar una acción)				
	No inclinar el equipo		No levantar el equipo solo	
Símbolos de advertencia (advierten de un riesgo)				
	Peligro de descarga eléctrica		Atmósfera explosiva	 Gases/Vapores tóxicos
Señales de obligado cumplimiento (prescriben la realización de una acción)				
	Sacar el enchufe		Utilizar guantes	 Utilizar calzado de seguridad

Fuente: MEMMERT. Instrucciones de manejo cámara climática con refrigeración peltier. {en línea}. {10 de enero de 2021}. Disponible en: (<https://www.memmert.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=1881&token=977d1bb77079a2855a48411526af8d45ec132>).

6.5 Seguridad del producto y riesgos



¡Advertencia! Al retirar cubiertas de protección pueden quedar expuestas piezas conductoras de electricidad, el contacto con ellas puede ocasionar una descarga eléctrica. Desenchufar el equipo de la red eléctrica antes de retirar las cubiertas de protección. Solo técnicos electricistas deben realizar trabajos en el interior del equipo.



¡Advertencia! si se introduce en la cámara un material de carga inadecuado, es posible que se generen vapores o gases tóxicos o explosivos. Esto puede hacer explotar el equipo y causar heridas o envenenamientos graves a las personas. La cámara solo se puede cargar con material que no genere

vapores tóxicos ni explosivos al calentarse.

6.6 Requisitos y observaciones del personal operario

El dispositivo solo puede ser manipulado por personas que cuenten con la previa instrucción respecto a la misma, todo aquel personal que se encuentre en fase de aprendizaje debe estar supervisado por una persona experimentada.

No se puede modificar ni reformar la cámara de forma arbitraria. No se pueden añadir ni incorporar piezas que no hayan sido autorizadas por el fabricante.

6.7 Datos técnicos

Cuadro 17. Especificaciones de la cámara climática

PROPIEDAD	VALOR
Ancho	400 [mm]
Alto	500 [mm]
Profundo	300 [mm]
Rango Temperatura	16°C – 40°C
Rango Humedad	30%HR – 70%HR
Voltaje de entrada	110 [V] AC

Fuente: elaboración propia

6.8 Condiciones ambientales de operación

1. Solo puede ser utilizada en espacios cerrados y con las siguientes condiciones ambientales: Temperatura ambiente: 16 °C a 25°C; Humedad del aire: máx. 70% HR.
2. La cámara climática no se debe utilizar en zonas con peligro de explosión. El aire del ambiente no puede contener polvo, gases, vapores ni mezclas de gas/aire que sean explosivos.
3. Una acumulación de polvo considerable o vapores agresivos en las cercanías del equipo puede producir sedimentos en el interior de la

cámara, lo que causaría cortocircuitos o daños en el sistema electrónico, por lo tanto, se deberán tomar las precauciones pertinentes para evitar la formación de polvos o vapores agresivos.

6.9 Transporte e instalación



¡Advertencia! Durante el transporte y la instalación de la cámara climática pueden producirse lesiones por aplastamiento en manos y pies. Llevar puestos guantes de protección y zapatos industriales.



¡Advertencia! No intente levantar solo la cámara puede sufrir lesiones debido a su peso y tamaño. Para transportarla se necesitan al menos 2 personas.



¡Advertencia! La cámara puede caer y provocarle lesiones. No inclinarla, debe ser transportado siempre en posición vertical.

El lugar de instalación debe ser nivelado y en horizontal, así como ser capaz de soportar con fiabilidad el peso de la cámara. No soporte el dispositivo en superficies inflamables.

No se debe instalar la cámara pegada a las paredes del recinto, se debe garantizar una circulación de aire suficiente alrededor del dispositivo.

6.10 Puesta en marcha

Una vez instalada la cámara llene de agua el depósito suministrado y ubíquelo nuevamente en conexión con el sistema.

Conecte la cámara climática a la red de alimentación eléctrica especificada, durante la primera puesta en marcha, no se debe dejar el equipo sin vigilancia hasta que alcance un estado de equilibrio.

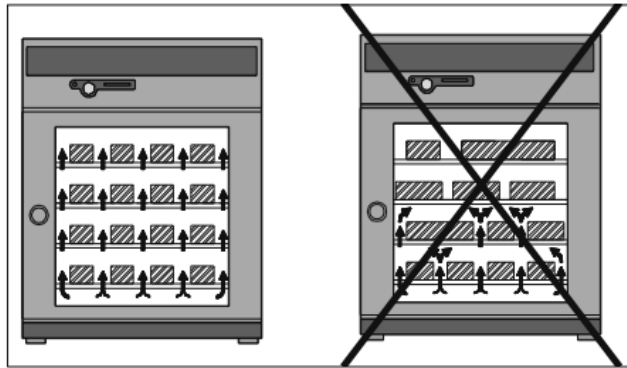
6.11 Funcionamiento y manejo

El dispositivo solo puede ser manejado por personal técnico calificado y con la edad mínima legal según el país de residencia. No se permite que personal en etapas prácticas o aprendizaje interactúen con la cámara climática.

6.12 Carga de la cámara climática

La ubicación de los dispositivos a calibrar se procura de forma ordenada, una distribución no homogénea puede resultar en procesos de calibración defectuosos. Es de carácter obligatorio utilizar bandejas perforadas con el fin de garantizar homogeneidad de las condiciones climáticas de la cámara.

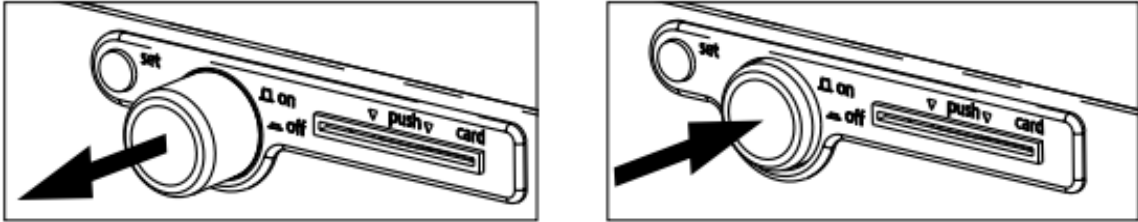
Figura 42. Distribución de la carga dentro de la cámara.



Fuente: MEMMERT. Instrucciones de manejo cámara climática con refrigeración peltier. {en línea}. {10 de enero de 2021}. Disponible en: (<https://www.memmert.com/index.php?elD=dumpFile&t=f&f=1881&token=977d1bb77079a2855a48411526af8d45ec132>).

Se puede encender o apagar el dispositivo presionando el interruptor principal.

Figura 43. Cómo encender la cámara climática.



Fuente: MEMMERT. Instrucciones de manejo cámara climática con refrigeración peltier. {en línea}. {10 de enero de 2021}. Disponible en: (<https://www.memmert.com/index.php?elD=dumpFile&t=f&f=1881&token=977d1bb77079a2855a48411526af8d45ec132>).

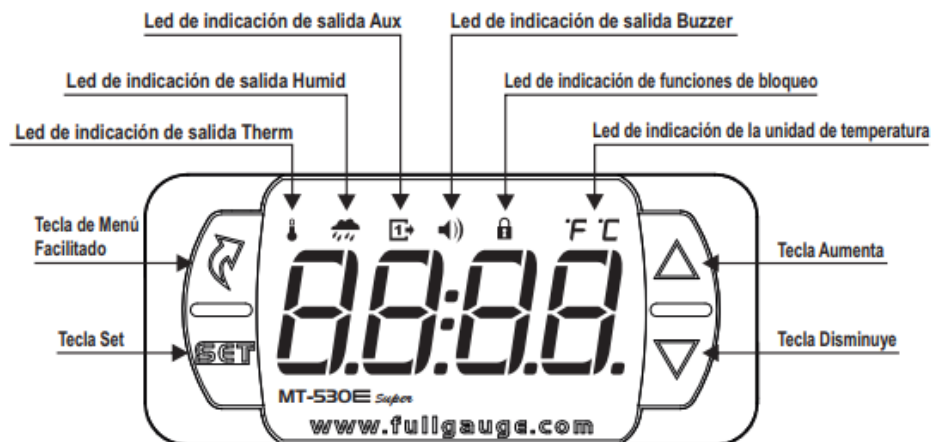
Se procede a configurar el dispositivo, de forma sencilla rápida e intuitiva por medio de la interfaz que ofrece full gauge.

El dispositivo MT 503E cuenta con tres salidas, una para temperatura, humedad y una tercera auxiliar que puede ser utilizada para una alarma.



6.13 Ajuste de parámetros

6.13.1 Teclas y funciones del controlador

Figura 44. Indicadores en pantalla del controlador.



Fuente: FULLAUGE. Manual de usuario controlador MT530E. {En línea}. {10 de enero de 2021}. Disponible en: (<https://www.fullgauge.com/es/manual-del-producto-111>)

Para establecer los sets point se pulsa la tecla  , se despliega el menú y la primera opción *SP1* es set point de temperatura. Se pulsa de nuevo la tecla  y por medio de las flechas de navegación se ajusta el set point.

SETPOINT DE SALIDA THERM




Una vez se llegue al valor de temperatura se pulsa la tecla *SET*. Ya se tiene el set point de la temperatura establecido.

Por medio de las flechas de navegación se busca la función *SP2*.

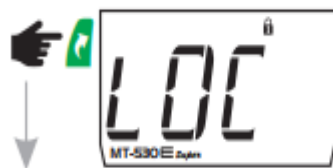
SETPOINT DE SALIDA HUMID



Se presiona la tecla  y por medio de las flechas de navegación se configura el set point para la humedad, una vez se llega al valor de porcentaje de humedad se presiona la tecla *SET*.

Establecidos los sets point de temperatura y humedad se puede evidenciar que los componentes del dispositivo se encienden.

BLOQUEO DE FUNCIÓN



debe abajo así se desbloquea el dispositivo.

Para evitar que personas ajenas al proceso de calibración modifique los valores establecidos, existe una opción de bloqueo. Para desbloquear el dispositivo apague y vuelva a encenderlo presionando la flecha

6.14 Finalización de operación

- Apague el dispositivo, use el interruptor principal
- Abra la puerta
- Retire los termohigrómetros a calibrar y el patrón.
- Desconecte el dispositivo de la red eléctrica.
- No deje agua en el depósito, puede provocar proliferación de microorganismos.
- Retire las bandejas divisoras, limpie el interior y cada bandeja. Este proceso es de gran importancia, no puede omitirlo.

7. PLAN DE MANTENIMIENTO



¡Advertencia!

Desenchufe la cámara antes de efectuar las tareas de limpieza y mantenimiento.

7.1 Limpieza

Es necesario limpiar de forma periódica la cámara, evita la formación de restos que puedan perjudicar a largo plazo tanto el aspecto de la cámara de acero inoxidable como su funcionalidad.

Las superficies metálicas de la cámara climática se limpian con productos especializados para acero inoxidable disponibles en el mercado. Se debe evitar el contacto de las superficies con objetos susceptibles a oxidación. Los sedimentos de óxido provocan la infección del acero inoxidable.

Si aparecen puntos de óxido en la superficie de la cámara a causa de suciedad, estos deben limpiarse y pulirse de inmediato.

El panel de mandos, los módulos de control, así como otras partes de plástico de la cámara no deberán limpiarse con productos que contengan sustancias disolventes o abrasivas.

7.2 Limpieza de módulos de refrigeración Peltier

Para garantizar un correcto funcionamiento y vida útil prolongada de las celdas de refrigeración peltier, es necesario eliminar el polvo que se acumula en el disipador de calor. La acumulación de polvo excesiva provoca aumento en el consumo energético

7.3 Tareas periódicas de mantenimiento

Cada tres meses

- Engrasar las piezas móviles de las puertas (bisagras) con grasa de silicona fina y comprobar que los tornillos de las bisagras estén firmemente asentados.
- Comprobar que las juntas están firmemente asentadas; si procede, ajustar la puerta.
- Inspección visual del cableado
- limpieza de los ventiladores ya que son elementos susceptibles al polvo.

7.4 Anualmente

- Engrasar las piezas móviles de las puertas (bisagras) con grasa de silicona fina y comprobar que los tornillos de las bisagras estén firmemente asentados.
- Comprobar que las juntas de las puertas están firmemente asentadas; de ser necesario, ajustar la puerta.
- Inspección visual, limpieza y prueba de continuidad al circuito eléctrico de la cámara climática, use limpiador de contactos electrónicos para la limpieza de cada subsistema.

8. PRUEBAS Y RESULTADOS

Teniendo en cuenta los requerimientos para realizar el proceso de calibración de los termohigrómetros, en información proporcionada por una entidad prestadora de salud en Bucaramanga, las variables de temperatura y humedad relativa pueden ser tratadas de manera independiente.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es, el hecho de que estas calibraciones se realizan al interior de un laboratorio donde el clima ambiente es controlado según normatividad establecida por entes encargados, por otra parte como se especifica en el manual del usuario, la cámara está diseñada para trabajar en un rango de temperatura de 20 a 26 °C.

Para la realización de las pruebas los elaboración propia no cuentan con un laboratorio o espacio en el cual el clima exterior de la cámara sea controlado, debido principalmente a la emergencia sanitaria que atraviesa la humanidad en este momento. Para una idealización del ambiente exterior requerido por la norma, se decide realizar las pruebas en horas de la madrugada cuando la temperatura en Bucaramanga alcanza sus puntos mínimos.

Según la norma que rige los parámetros para la calibración de estos dispositivos, se debe iniciar disminuyendo la temperatura hasta su punto inferior y luego aumentarla hasta el punto máximo, siguiendo estas recomendaciones se procede a realizar las pruebas, primero se lleva la temperatura desde las condiciones ambientales hasta el punto mínimo requerido (16°C), inmediatamente después, es llevada la temperatura hasta el límite máximo (40°C), donde se mantiene por un pequeño lapso de tiempo mediante el control automático, por último se enfría el ambiente hasta alcanzar la temperatura mínima, manteniendo el estado estable.

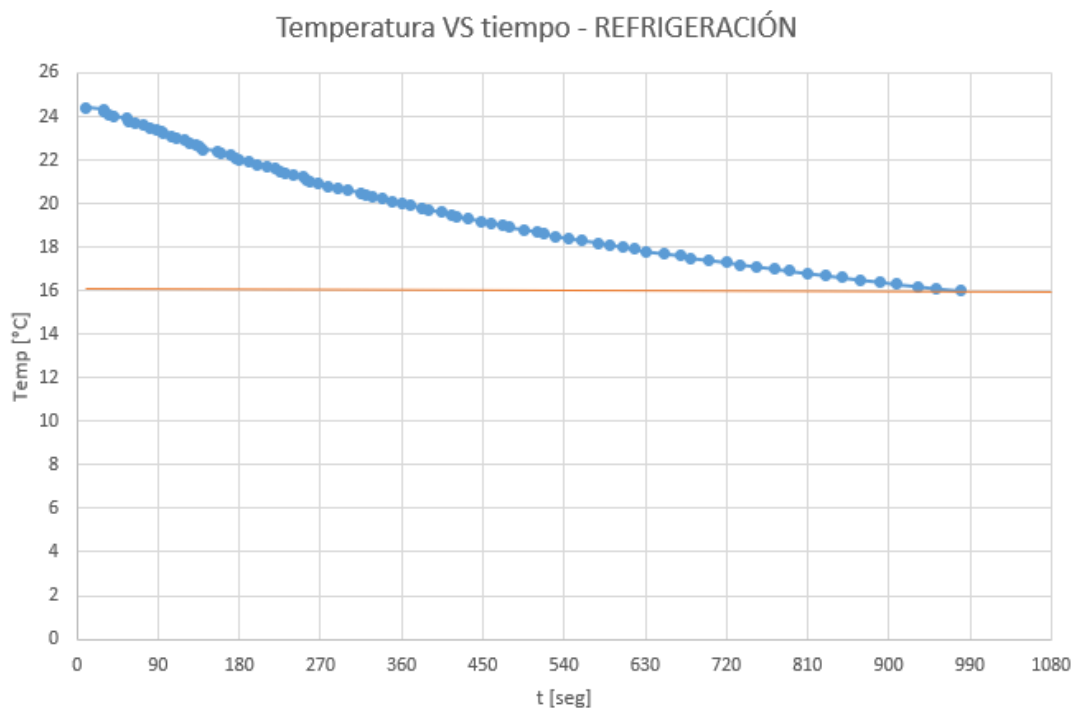
También se realiza un análisis del comportamiento de la cámara al variar la humedad al interior de la misma, para esta situación, primero se lleva la humedad hasta el punto mínimo y luego se incrementa como lo especifica la guía para la calibración de termohigrómetros. Partiendo del punto ambiental

se lleva la humedad hasta el punto mínimo (30%), y se mantuvo en estado estable, seguidamente se llevó la humedad en el volumen útil hasta el punto máximo referenciado (70%) manteniéndola por un lapso de tiempo en ese punto gracias al control automático, por último, se deshumidificó desde el punto máximo hasta el mínimo establecido.

A continuación, se muestran los resultados y el respectivo análisis transitorios de las pruebas realizadas en el orden mencionado.

8.1 Prueba de temperatura en la madrugada

Figura 45. Temperatura vs tiempo, refrigeración desde ambiente.

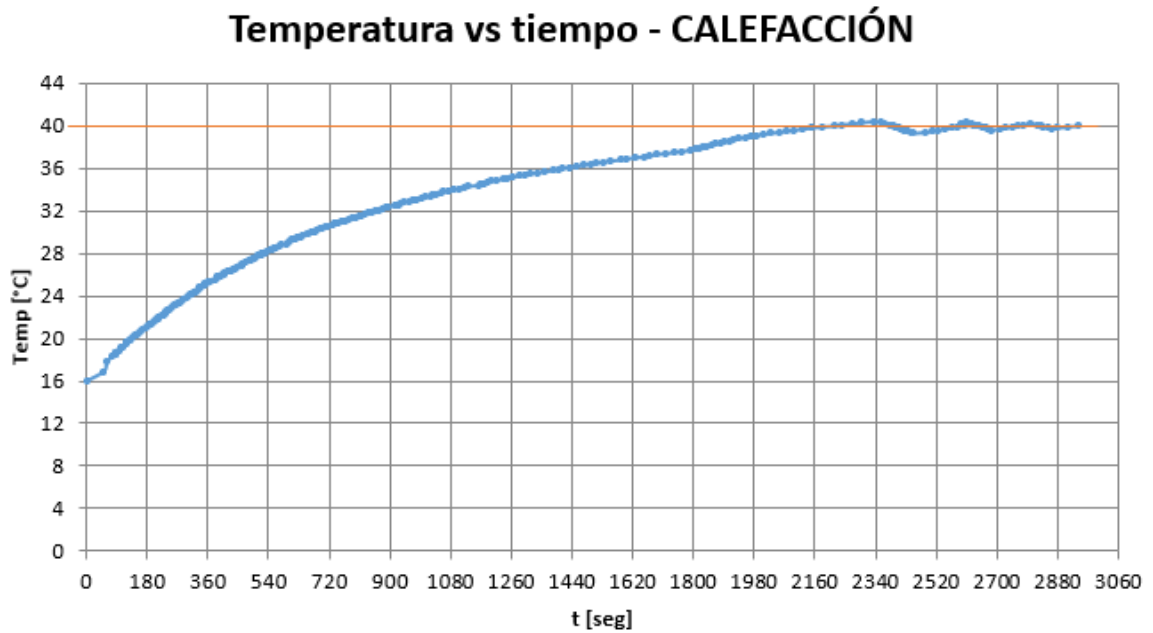


Fuente: elaboración propia

En primera instancia se realiza un análisis transitorio de la variación de temperatura al interior de la cámara climática en función del tiempo, partiendo desde la temperatura ambiente al interior del cuarto de calibración (24.5 °C) hasta el límite inferior requerido (16°C) para este suceso se

evidencia que la cámara tarda un tiempo de 16 minutos y 20 segundos (980 seg) logrando cumplir con el objeto propuesto.

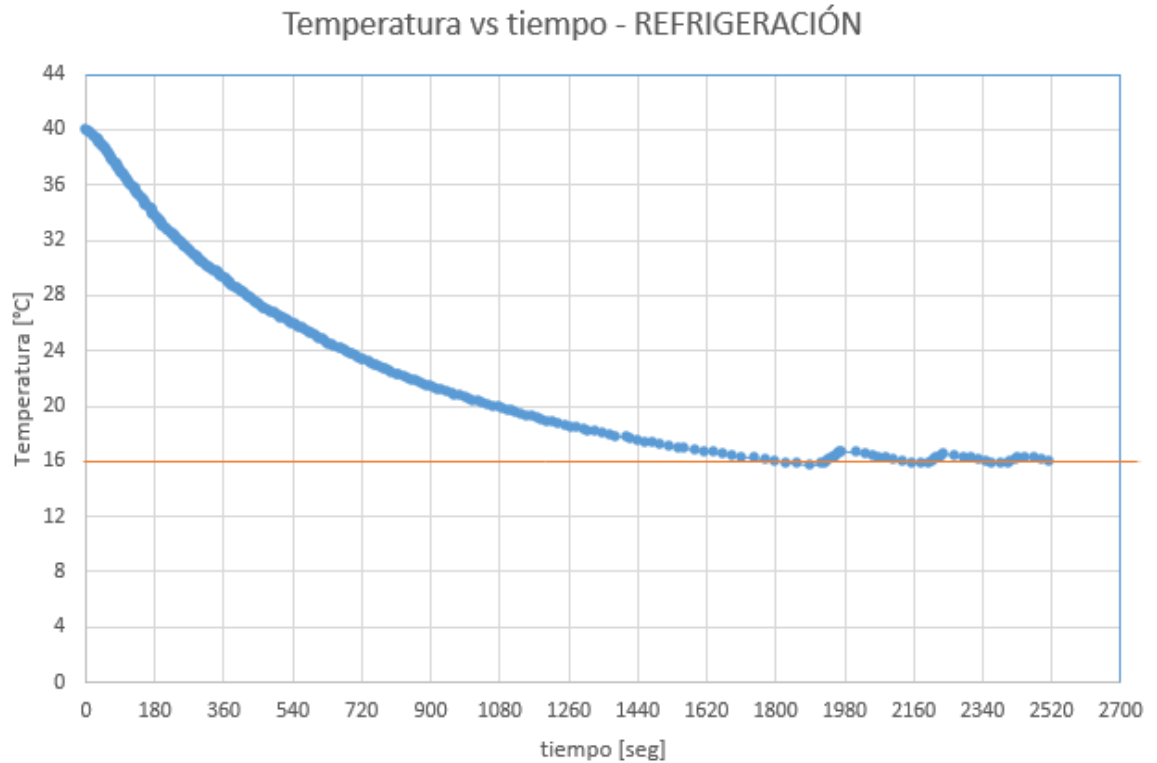
Figura 46. Temperatura vs tiempo, Calefacción.



Fuente: elaboración propia

Una vez se alcanza la temperatura mínima (16°C) dentro del dispositivo, el ambiente al interior de la cámara es llevado hasta el límite superior (40°C), este proceso toma un tiempo de 37 minutos (2220 seg) y se mantiene en este punto de estado estable por un tiempo de 550 seg por medio del control automático.

Figura 47. Temperatura vs tiempo, refrigeración.

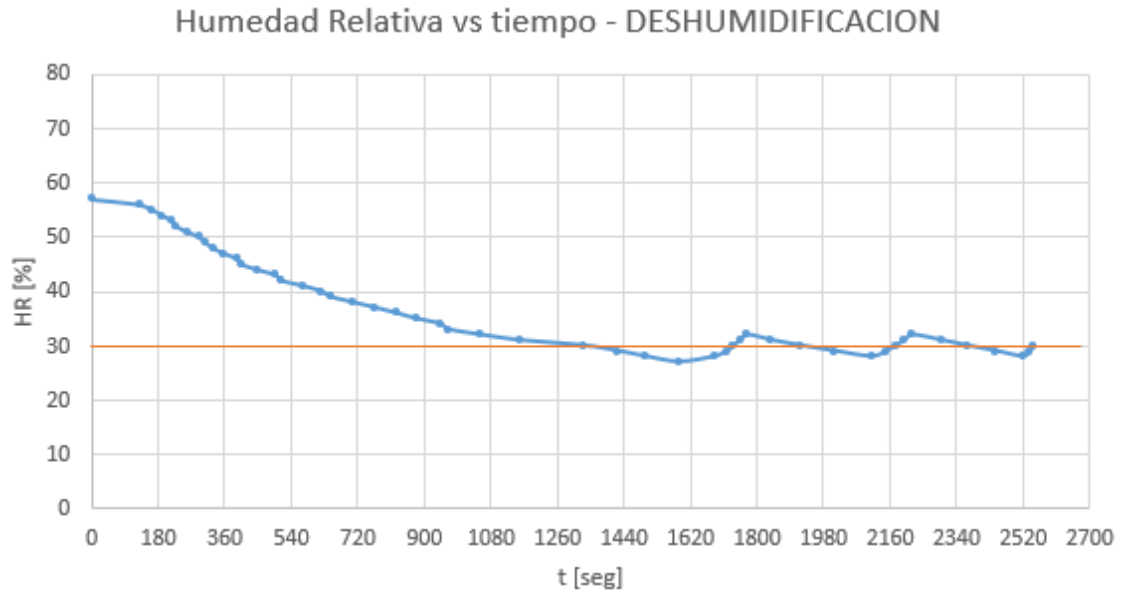


Fuente: elaboración propia

Por último, en el proceso del control de temperatura, se realiza la refrigeración de la cámara climática desde su límite superior (40°C) hasta el mínimo requerido (16°C), este proceso toma un tiempo de 30 minutos (1800 seg), y por medio del control se mantiene en este punto por un lapso de 630 seg.

8.2 Prueba de humedad en la madrugada

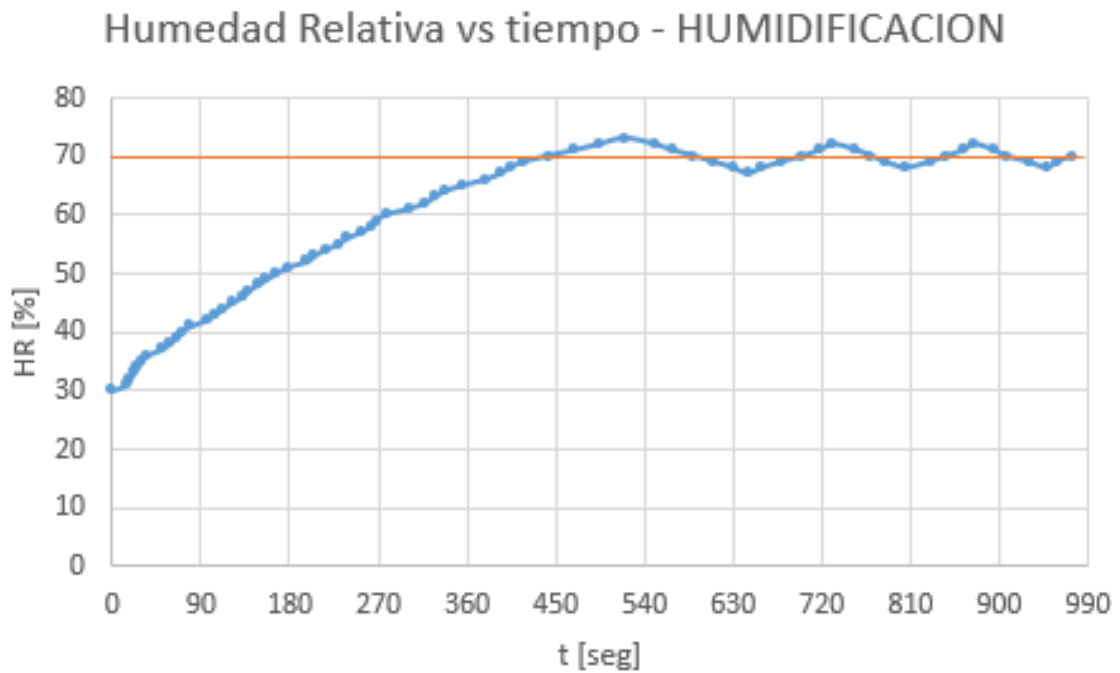
Figura 48. Humedad relativa vs tiempo, deshumidificación desde ambiente



Fuente: elaboración propia

El análisis transitorio de la humedad relativa al interior de la cámara se lleva a cabo a partir de la humedad presente en el ambiente del cuarto de calibración, partiendo de una HR igual a 57% hasta el límite inferior de HR 30%, este proceso toma un tiempo de 23 minutos 44 segundos (1424 seg) y se mantiene por un tiempo de 1170 seg en estado estable mediante el control automático.

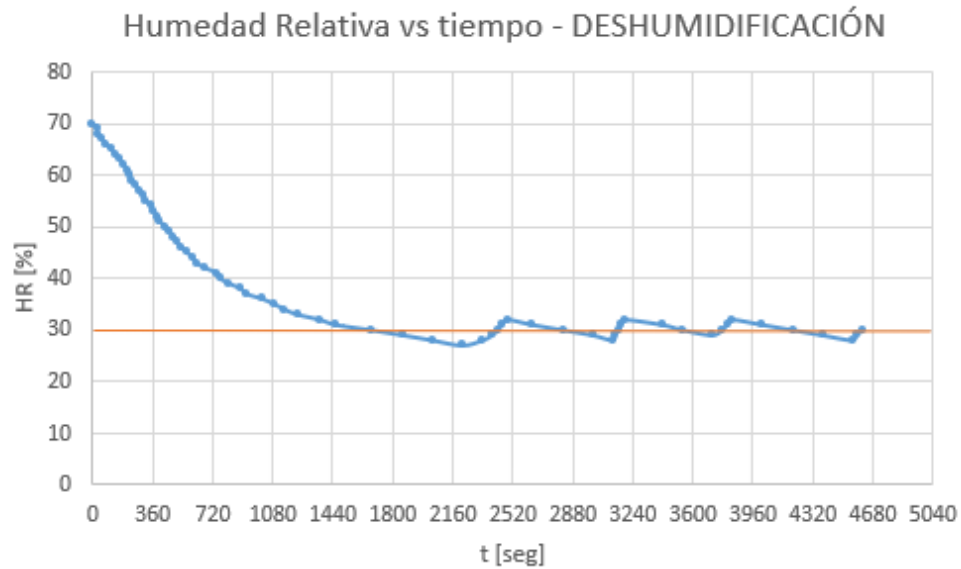
Figura 49. Humedad vs tiempo, humidificación.



Fuente: elaboración propia

Una vez se alcanza el punto mínimo de humedad relativa, por medio del humidificador ultrasónico se aumenta hasta el valor máximo requerido 70%, este dispositivo aumenta la humedad en un tiempo bastante corto, 7 minutos 23 segundos (443 seg) y se mantiene en este punto por un tiempo de 540 seg mediante el control automático de humedad.

Figura 50. Humedad relativa vs tiempo, deshumidificación



Fuente: elaboración propia

Por último, se lleva la humedad al interior de la cámara desde el punto máximo requerido 70%, hasta el menor valor establecido 30%, este proceso se lleva a cabo en tiempo de 27 minutos 48 segundos (1668 seg) y se mantiene en estado estable por un periodo de 2160 seg mediante el controlador automático.

9. SIMULACIÓN EXPERIMENTAL

Uno de los análisis en el comportamiento transitorio de la cámara climática consiste en la simulación de dos escenarios experimentales, los cuales podrían ser imprevistos presentados a la hora de realizar el proceso de calibración. Se estudia el comportamiento que presenta la cámara antes estas dos posibles situaciones planteadas, la primera de ellas consiste en aperturas no planificadas del dispositivo durante el proceso de calibración, ya sea en una circunstancia en que se quiera ingresar un termohigrómetro después de iniciado el proceso o cualquier otra similar, para esta simulación se le da apertura al prototipo funcional durante unos pocos minutos y se cierra nuevamente para que continúe con su funcionamiento normal, este escenario se realiza en las horas de la madrugada, tratando de idealizar un clima ambiental dentro del rango permitido de operación del dispositivo. La respuesta que presenta frente a esta anomalía se analiza gráficamente. El segundo escenario consiste en la variación de condiciones ambientales exteriores en las que va a operar la cámara, para simular esta situación se realizan pruebas al medio día (12:00 m), momento en que se presenta la temperatura más alta. Se estudia gráficamente el comportamiento transitorio que esta presenta en cuanto a temperatura y humedad relativa.

9.1 Aperturas no planificadas

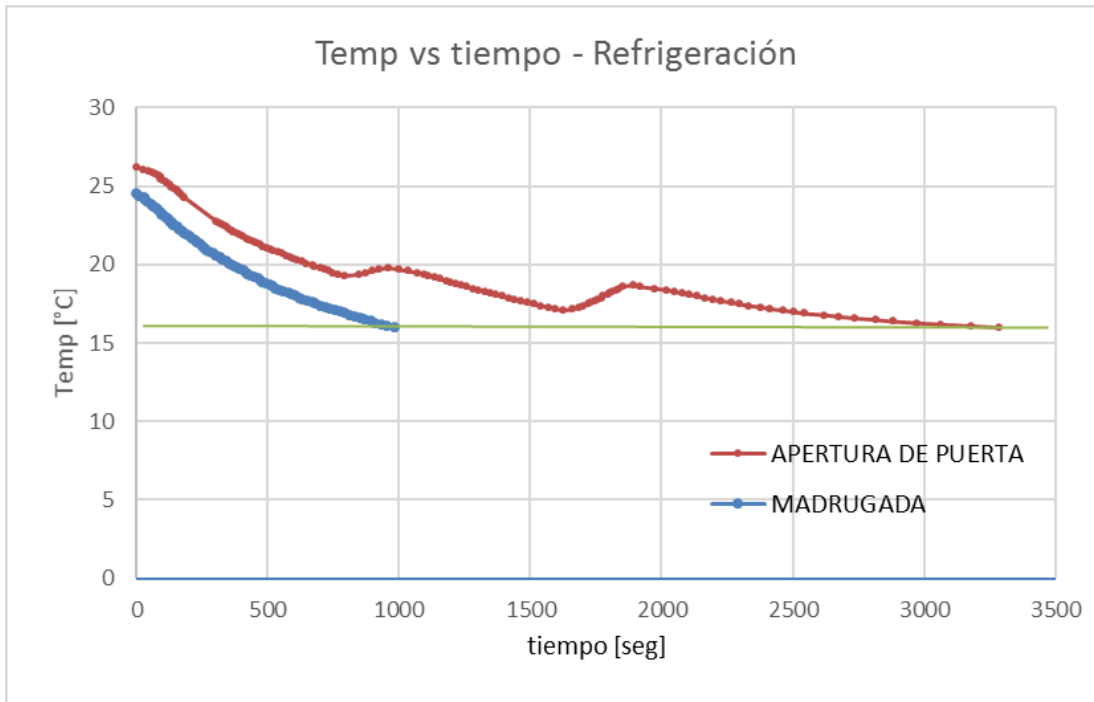
Figura 51. Cámara climática, aperturas no planificadas.



Fuente: elaboración propia

9.1.1 Pruebas de temperatura se realizan las primeras pruebas simulando aperturas no planificadas de la cámara climática durante el proceso de calibración, se refrigera el interior de la cámara desde la temperatura ambiente del cuarto de calibración (26°C) hasta la temperatura mínima de calibración (16) durante este proceso se realizan 2 aperturas de la puerta de 2 minutos cada una, la primera de ellas se realiza en el minuto 12 (720 seg) de operación cuando la temperatura está en un valor de $19,5^{\circ}\text{C}$ y la segunda se realiza sobre el minuto 27 (1620 seg) cuando la temperatura está en $17,1^{\circ}\text{C}$, estos comportamientos se analizan gráficamente por el método de comparación con el proceso realizado en condiciones normales de operación.

Figura 52. Refrigeración aperturas no planificadas.

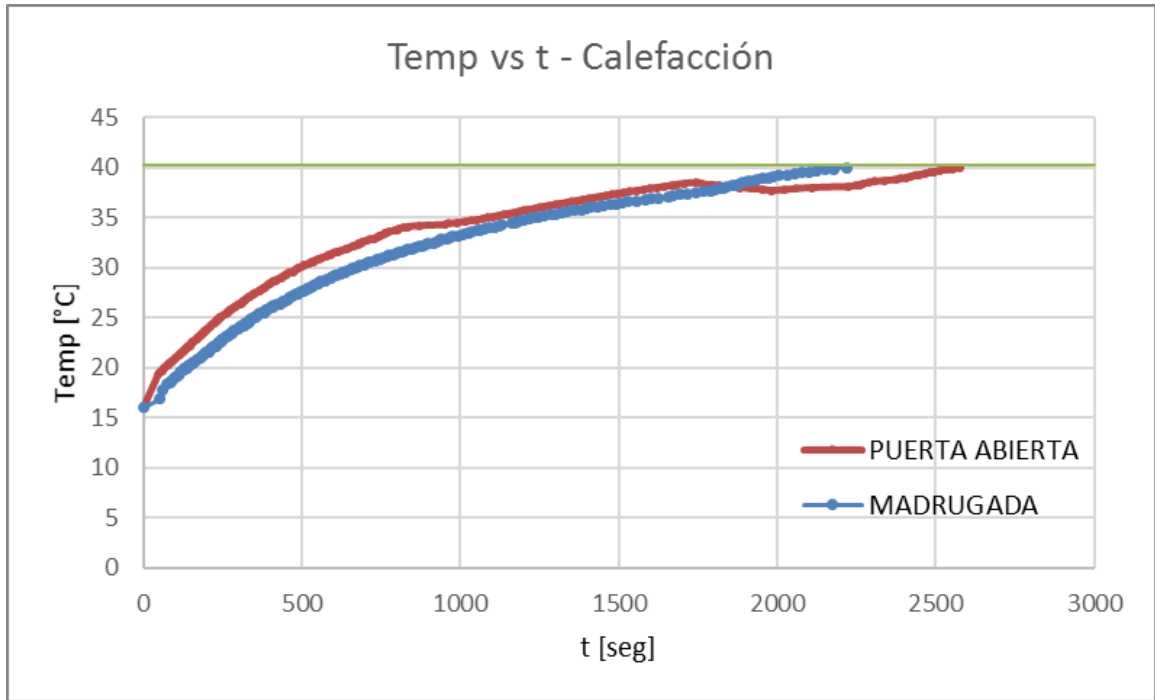


Fuente: elaboración propia

La cámara presenta un comportamiento con baja eficiencia, aunque se logra sacar el calor del interior del dispositivo para llegar a la temperatura mínima requerida, en este escenario la cámara tarda un tiempo mucho más amplio que el empleado en condiciones normales, 3287 segundos.

Para un segundo análisis, se le suministra calor a la cámara con el fin de llegar a la temperatura máxima requerida (40°C). Del mismo modo que en la prueba anterior, se realizan dos aperturas no planificadas durante el proceso, la primera de ellas se hace en el minuto 11 con 25 segundos (685 seg) cuando la temperatura se encuentra en 32,5°C y esta dura 4 minutos, la segunda apertura se realiza en el minuto 27 (1620 seg) cuando la temperatura alcanza un valor de 38°C, y tarda un tiempo de 5 minutos, el análisis transitorio de estos comportamientos se realiza de manera gráfica, comparando con la respuesta del dispositivo en condiciones normales.

Figura 53. Calefacción aperturas no planificadas.



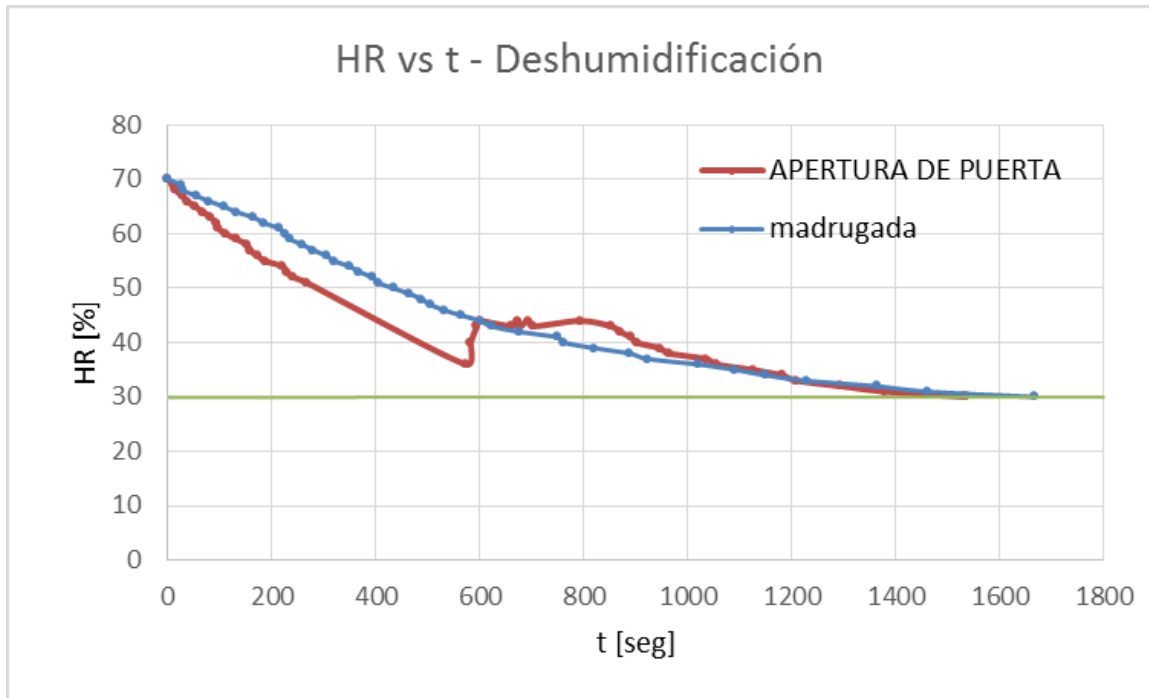
Fuente: elaboración propia

La temperatura al interior de la cámara logra incrementar hasta el valor deseado 40°C, en un tiempo mayor a la respuesta en condiciones normales, 2576 segundos, en comparación con la situación ideal en que debe operar el dispositivo, se observa que la eficiencia de la cámara disminuye notablemente, se debe a que la abertura de la puerta permite que el ambiente exterior interfiera en la operación de la cámara.

9.1.2 Pruebas de humedad Durante el tratamiento de humedad se realizan aperturas no planificadas, de esta forma se generan las perturbaciones planteadas en los objetivos específicos.

En el proceso de deshumidificación, partiendo del límite superior (70%hr), se realiza la apertura a los 573 segundos después de iniciado el proceso, el comportamiento presentado por el dispositivo se describe de manera gráfica en función del tiempo.

Figura 54. Humedad relativa vs tiempo, apertura de puerta

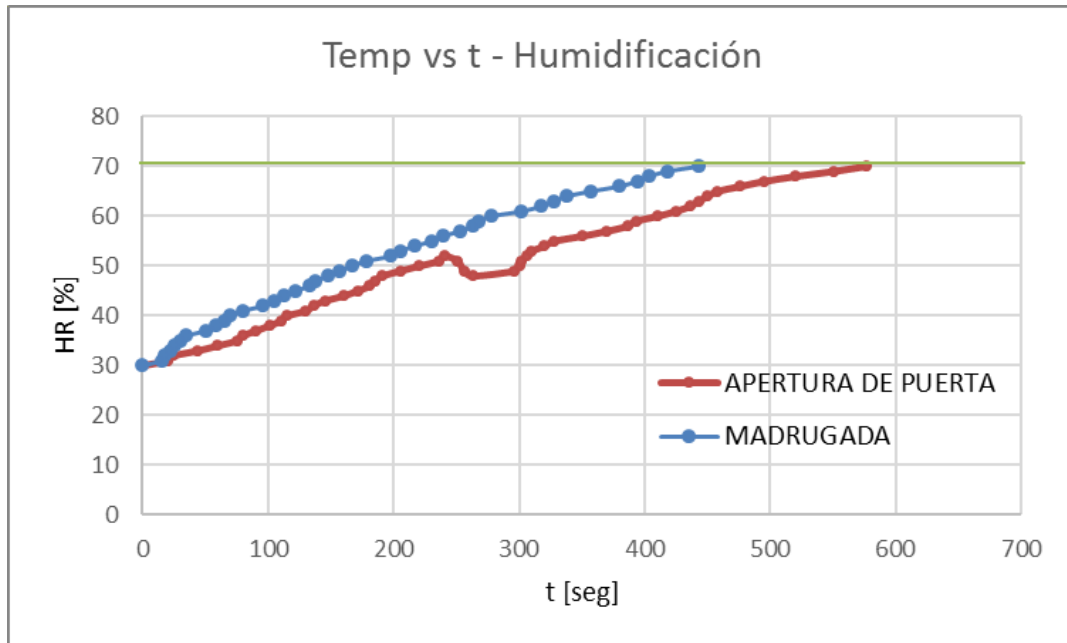


Fuente: elaboración propia

A pesar de la perturbación generada, como lo evidencia la descripción gráfica del comportamiento de la cámara, se logra llevar a cabo la deshumidificación por completo en un tiempo muy cercano al proceso realizado en condiciones operacionales normales.

Por último, se realiza el proceso de humidificación por ultrasonido, para esta prueba se desea llegar a la humedad relativa máxima 70%. La apertura no planificada del dispositivo se realiza a los 241 segundos como se evidencia en la gráfica del comportamiento del dispositivo en función del tiempo.

Figura 55. Humedad relativa vs tiempo, apertura no planificada



Fuente: elaboración propia

Se observa que la humedad relativa al interior de la cámara logra llegar hasta el punto deseado en un tiempo de 576 segundos, a pesar de que se genera la perturbación, la cámara no tarda mucho en retomar su comportamiento ideal continuando con el proceso.

9.2 Variación de las condiciones ambientales

9.2.1 Prueba de temperatura a medio día

Cuadro 18. Condiciones ambientales al medio día.

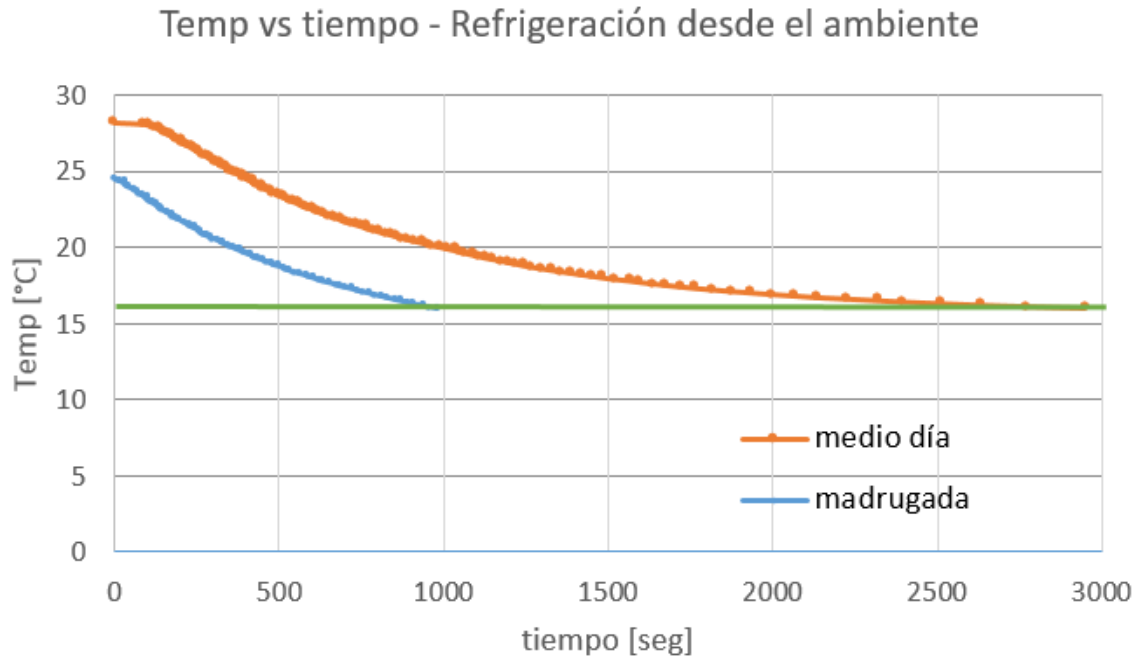
Temperatura	Humedad Relativa
28.2 °C	56%

Fuente: elaboración propia

Para este escenario se realizan pruebas a la cámara climática en el momento en que la ciudad de Bucaramanga presenta su mayor temperatura, 12:00m.

En primer lugar, se realiza la prueba de temperatura llevándola desde el ambiente hasta el punto mínimo requerido de 16°C sin ningún tipo de intervención durante el proceso de calibración.

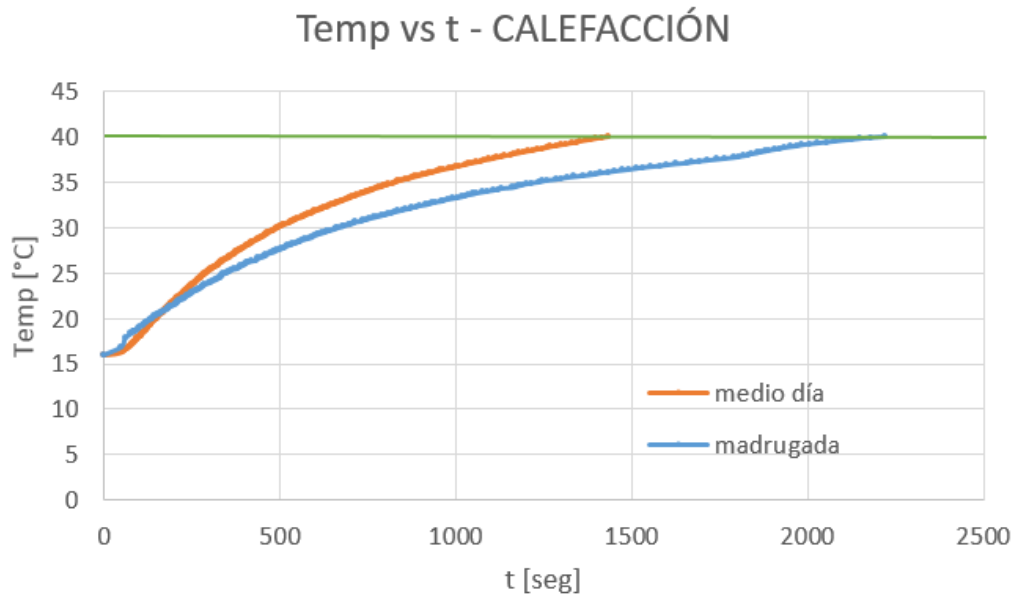
Figura 56. Temperatura vs tiempo, refrigeración desde el ambiente a 16°C. Hora: 12m.



Fuente: elaboración propia

El subsistema de refrigeración logra bajar la temperatura hasta su punto mínimo, con una eficiencia muy baja, este proceso toma un tiempo mucho mayor que el realizado en condiciones normales de operación, 49 minutos 7 segundos. (2947 seg).

**Figura 57. Gráfica temperatura vs tiempo, calefacción de 16°C a 40°C.
Hora 12m.**



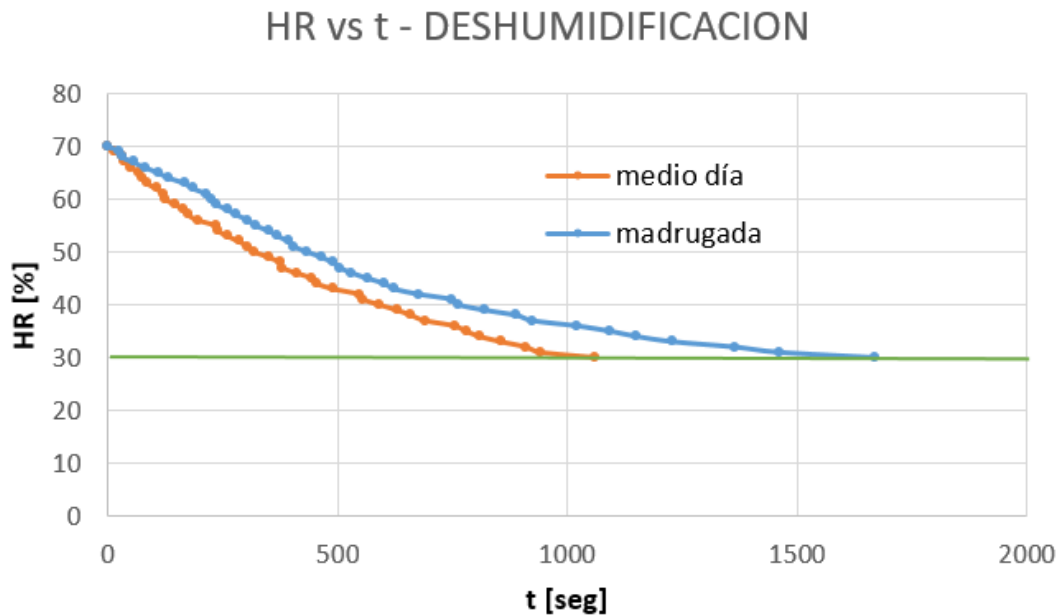
Fuente: elaboración propia

La prueba de calefacción se realiza de la temperatura mínima requerida 16°C hasta el punto máximo 40°C.

Como era de esperarse, el incremento de temperatura en el ambiente exterior provoca un mejoramiento en la eficiencia del subsistema de calefacción, la temperatura aumenta al interior de la cámara con una eficiencia mayor a la operación en condiciones normales de operación, 23 minutos 55 segundos (1435 seg).

9.2.2 Pruebas de humedad a medio día

Figura 58. Humedad relativa vs tiempo, Hora 12m.

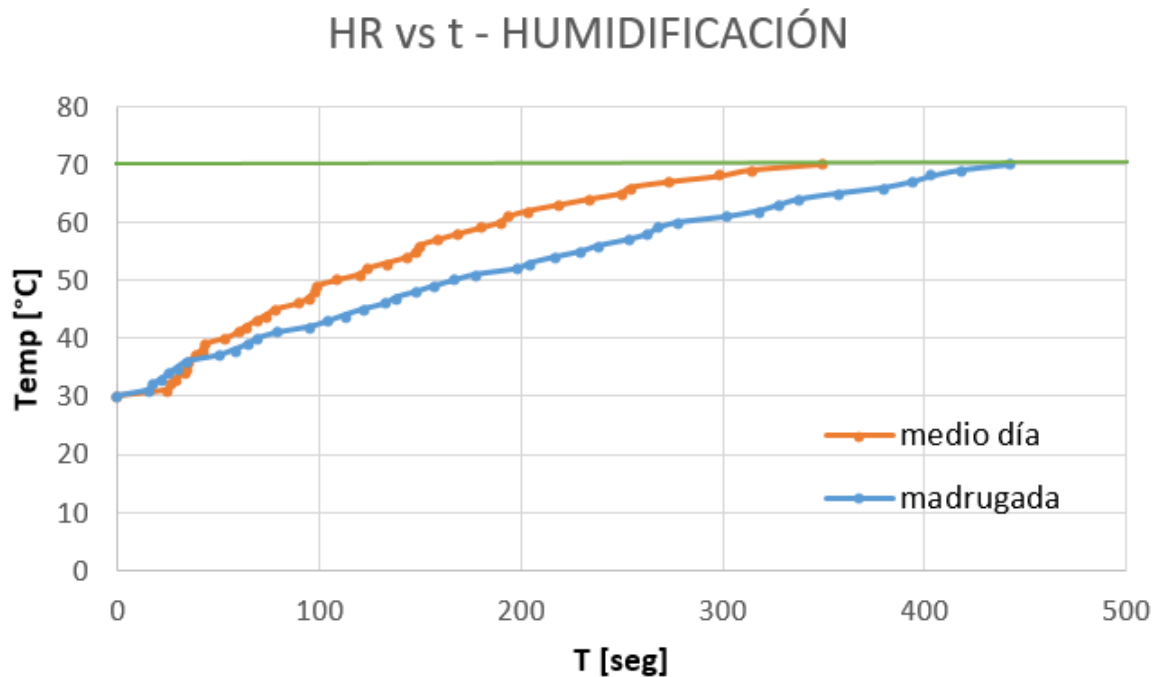


Fuente: elaboración propia

La deshumidificación se lleva a cabo desde el valor máximo requerido 70% hasta el punto mínimo 30%.

La disminución de humedad en el ambiente exterior provoca que a medio día el proceso de deshumidificación al interior de la cámara se pueda lograr en un tiempo menor que las pruebas realizadas en la madrugada, 23 minutos 58 segundos (1060 seg).

Figura 59. Humedad relativa vs tiempo, humidificación, 30% a 70%. Hora 12m.



Fuente: elaboración propia

Se controla la humedad en los límites requeridos, desde 30% hasta un valor igual a 70%, la humidificación se realiza mediante ultrasonido, es por esto que, el cambio en las condiciones exterior no afecta notablemente este proceso, el tiempo de operación en estas condiciones es muy cercano al realizado en condiciones normales 5 minutos, 49 segundos.

10. CONCLUSIONES

- ✓ Se logra diseñar, construir y verificar el funcionamiento mediante pruebas experimentales en el prototipo funcional de cámara climática, demostrando que el diseño planteado de los diferentes subsistemas y del circuito en serie que describe el tratamiento del fluido de proceso al interior de la cámara, cumplen a cabalidad con el objetivo propuesto de controlar las variables de temperatura y humedad relativa en los rangos establecidos, de este modo se contribuye al proceso de calibración de termohigrómetros por el método de comparación.
- ✓ A pesar de que los materiales usados en la construcción del prototipo funcional a escala no son los planteados en el diseño, tienen características físicas similares que permiten realizar un análisis experimental muy cercano al diseño original.
- ✓ La simulación de los escenarios experimentales realizados durante el funcionamiento de la cámara climática, demuestran la capacidad y versatilidad del dispositivo frente a diferentes perturbaciones que pueden presentarse durante el proceso de calibración.
- ✓ El estudio de viabilidad económica realizado demuestra que por un costo inferior al conocido comercialmente se logra satisfacer la necesidad de las EPS para lograr la autonomía en la calibración de termohigrómetros, con una buena relación calidad-precio.
- ✓ Se entrega el prototipo con sus respectivos manuales del usuario y mantenimiento, también se incluyen en anexos los planos estructurales para su posterior construcción por los entes interesados. Se abre la posibilidad para la universidad prestar servicios de calibración de termohigrómetros.

11. RECOMENDACIONES

A quien tenga interés en este dispositivo puede implementar mejoras que contribuyan a mejorar el rendimiento del prototipo.

- ✓ En el momento de construcción usar los materiales propuestos en el diseño de la cámara climática, esto garantiza que el dispositivo funcione de manera óptima dentro de los rangos establecidos.

- ✓ En caso tal de que se requiera mantener la temperatura estable al momento de variar la humedad relativa debe añadir la rueda desecante, dicha implementación se simplifica gracias a el sistema de elementos en serie.

- ✓ Este dispositivo permite afianzar conocimientos de materias del pensum académico, tales como termodinámica, Mecánica de fluidos, Sistemas térmicos e ingeniería de control se sugiere que este prototipo sea implementado como un banco de laboratorio.

- ✓ Mejorar la interfaz humano-máquina del sistema de control, se puede añadir una pantalla táctil en la cual digite los parámetros o los rangos de operación de forma sencilla, sin la necesidad de usar botones.

BIBLIOGRAFÍA

- ✓ CALTEX. Servicio de calibración de termohigrometros. {En línea}. {20 de julio de 2020}. Disponible en: (<https://www.caltex.es/calibracion-termohigrometro/#:~:text=La%20calibraci%C3%B3n%20termohigr%C3%B3metro%20consiste%20en,del%20pa%C3%ADs%20para%20calibrar%20termohigr%C3%B3metros.>)
- ✓ INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos. {En línea}. {27 de junio de 2020}. Disponible en: (<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/418894/Caracter%C3%ADsticas+de+Ciudades+Principales+y+Municipios+Tur%C3%ADsticos.pdf/c3ca90c8-1072-434a-a235-91baee8c73fc>)
- ✓ INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA DE COLOMBIA. Guía para la calibración de termómetros digitales con sensor tipo PRT, termistor y termopar en baños líquidos y hornos de bloque metálico. Version No. 1. Bogotá. INM 2019.
- ✓ MEZA BÁRCENAS, Roger Jenry. Implementación de una cámara isohigrométrica para la calibración de higrómetros analógicos y digitales [En línea]. [12 de agosto de 2019]. Disponible en: (<http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2736>).
- ✓ PIERRE RAPIN. Patrick Jacquard. Formulario del Frio. Barcelona: Marcombo, 1999. 217P.
- ✓ RUIZ MÁRQUEZ, Juan Pedro; Diseño y construcción de una cámara de temperatura controlada. [En línea] [11 de agosto de 2019]. Disponible en: (http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12168/Tesis_Mec%C3%A1nica_JPRM.pdf?sequence=1).
- ✓ YUNUS A. Cengel. Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones. Cuarta edición. Mexico D.F.: McGraw Hill, 2011.