

**DISEÑO PARA LA CONSTRUCCION Y PROTOTIPADO DE UNA CAMARA
CLIMÁTICA PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMOHIGROMETROS PARA LA
FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE SANTANDER– CLÍNICA FOSCAL**

**ANA MARIA RODRIGUEZ PIEDRAHITA
SERGIO A. RUEDA VILLANOBA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

**DISEÑO PARA LA CONSTRUCCION Y PROTOTIPADO DE UNA CAMARA
CLIMÁTICA PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMOHIGROMETROS PARA LA
FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE SANTANDER– CLÍNICA FOSCAL**

**ANA MARÍA RODRIGUEZ PIEDRAHITA
SERGIO A. RUEDA VILLANOBA**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

**Director
OMAR A. GELVEZ AROCHA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2016

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	16
1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA	17
1.1.1 Historia:.....	17
1.1.2 Junta directiva	18
1.1.3 Servicios prestados.....	18
1.1.3.1 Consulta externa.....	18
1.1.3.2 Radiología e imágenes diagnósticas.....	19
1.1.3.3 Banco de sangre.....	19
1.1.3.4 Centro de cáncer.....	19
1.1.3.6 Unidad renal.....	19
1.1.4 Descripción organizacional	20
1.2 DESARROLLO METODOLÓGICO	21
1.2.1 Descripción del Problema.....	21
1.2.2 Justificación del proyecto	22
1.2.4 Objetivos específicos	23
2. PROCESO DE DISEÑO	25
2.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS.....	25
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL.....	25
2.2.1 Subsistema estructural de la cámara climática	26
2.2.1.1 Componentes del subsistema de la cámara climática	27
2.2.2 Subsistema de refrigeración	27
2.2.2.1 Componentes del subsistema de refrigeración	28
2.2.3 Subsistema de calefacción	29
2.2.4 Subsistema de humidificación.....	30
2.2.5 Subsistema de deshumidificación.....	31

2.2.6 Subsistema de control	32
2.3 DISEÑO DETALLADO	32
2.3.1 Subsistema estructural de la cámara	32
2.3.2 Subsistema de refrigeración	34
2.3.2.1 Cálculo de las cargas térmicas para la refrigeración.	34
2.3.2.2 Selección subsistema de refrigeración.....	43
2.3.2.3 Cálculo de la carga por calefacción.	50
2.3.2.3 Selección subsistema de calefacción.....	53
2.3.4 Subsistema de humidificación.....	54
2.3.4.1 Cálculo de la carga de humidificación.....	54
2.3.4.2 Selección del sistema de humidificación.....	57
2.3.5 Subsistema de deshumidificación	57
2.3.5.1 Cálculo de la carga de deshumidificación	57
2.3.6 Subsistema de control	62
2.3.6.1 Control del subsistema de refrigeración.....	62
2.3.6.2 Control del subsistema de calefacción.....	65
2.3.6.4 Control del subsistema de des humidificación.	67
3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN MONTAJE Y OPERACIÓN DEL PROTOTIPO.....	69
3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUCTURA.....	69
3.2 MONTAJE DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN	71
3.3 MONTAJE DEL EQUIPO DE HUMIDIFICACIÓN Y DESHUMIDIFICACIÓN...73	
3.3.1 Sistema de Deshumidificación	73
3.3.2 Sistema de humidificación	74
4. DISEÑO Y ESTUDIO DE VIEABILIDAD ECONÓMICA DE LA CÁMARA CLIMÁTICA.....	75
4.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA CÁMARA CLIMÁTICA	75
4.1.1 Subsistema mecánico	75

4.1.2 Subsistema de refrigeración	75
4.1.3 Subsistema de calefacción.	76
4.1.4 Subsistema de humidificación.....	76
4.1.5 Subsistema de deshumidificación.....	76
4.1.6 Subsistema de control.....	76
4.2 ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA	76
5. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO	78
5.1 MANUAL DE MANTENIMIENTO.....	78
5.1.1 Sistema de refrigeración y calefacción	78
5.1.2 Sistema de humidificación y deshumidificación	79
5.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	79
5.3 MANUAL DE USO	81
6. PRUEBAS.....	83
6.1 PRUEBAS DE MÍNIMA HUMEDAD A DIFERENTES TEMPERATURAS.	83
6.2 PRUEBAS PARA ESTABLECER EL AJUSTE DEL SISTEMA A UNA REFERENCIA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DADA.	87
7. CONCLUSIONES	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91
ANEXOS.....	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Vista general de la fundación oftalmológica de Santander – clínica FOSCAL.	17
Figura 2.	Esquema general de los subsistemas de la cámara climática. Fuente: autores.....	26
Figura 3.	Esquema subsistema de refrigeración.....	27
Figura 4.	Esquema subsistema de calefacción.....	29
Figura 5.	Subsistema de humidificación.....	30
Figura 6.	Subsistema de deshumidificación.....	31
Figura 7.	esquema general del subsistema mecánico.....	33
Figura 8.	Cargas térmicas en el proceso de refrigeración.....	34
Figura 9.	calor transferido por conducción.....	37
Figura 10.	Esquema Evaporador. Fuente: Autores.....	44
Figura 11.	Dimensiones Evaporador.....	45
Figura 12.	Catálogo para la selección del evaoprador.....	45
Figura 13.	Descripción código evaporador. Fuente: Catálogo aeroevaporadores García Cámara.	46
Figura 14.	Temperatura evaporación y ambiente.	47
Figura 15.	Esquema Unidad Condensadora. Fuente: Autores.....	47
Figura 16.	Cargas sistema de Calefacción. Fuente: Autores.....	49
Figura 17.	Transferencia de calor por las paredes. Fuente: Autores.	50
Figura 18.	Especificaciones resistencias.	54
Figura 19.	Comportamiento de la humidificación.	55
Figura 20.	Humidificador Ultrasónico.....	57
Figura 21.	Carta psicométrica baja temperatura.	58
Figura 22.	Isotermica de adsorción silica gel.	60
Figura 23.	Esquema general del sistema de control Refrigeración.....	63
Figura 24.	Salida control proporcional de tiempo compartido.	63

Figura 25.	Especificaciones control AX4.....	64
Figura 26.	Esquema general del sistema de control de calefacción	65
Figura 27.	Esquema general del sistema de control de humidificación.	66
Figura 28.	Especificaciones Sensor DHT11.....	67
Figura 29.	Esquema general del subsistema de control de deshumidificación	68
Figura 30.	Lámina constructiva. Fuente: Autores.....	69
Figura 31.	Panel tipo sándwich poliuretano. Fuente: Autores	70
Figura 32.	Construcción estructura del prototipo. Fuente: Autores	70
Figura 33.	Evaporador Fuente: Autores	71
Figura 34.	Unidad Condensadora. Fuente: Autores.....	71
Figura 35.	Componentes Unidad condensadora. Fuente: Autores	72
Figura 36.	Instalación resistencias tubulares. Fuente: Autores.....	72
Figura 37.	Subsistemas Refrigeración y calefacción. Fuente: Autores	73
Figura 38.	Rueda desecante. Fuente: Autores	73
Figura 39.	Humidificador Ultrasónico	74
Figura 40.	Vista Controlador MT 530	81
Figura 41.	Humedad mínima a 0°C.....	83
Figura 42.	Mínima humedad a 10°C	84
Figura 43.	Humedad mínima a 20°C.....	84
Figura 44.	Humedad mínima a 30°C.....	85
Figura 45.	Humedad mínima a 40°C.....	85
Figura 46.	Humedad mínima a 50°C.....	86
Figura 47.	Humedad mínima a 60°C.....	86
Figura 48.	Prueba a 15°C y 40%HR	88
Figura 49.	Prueba a 30°C y 30%HR	88
Figura 50.	Prueba a 30°C y 40%HR	89
Figura 51.	Prueba a 40°C y 30%HR	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Datos geográficos y climáticos de Bucaramanga	25
Tabla 2. Dimensiones de la cámara climática y el prototipo.	32
Tabla 3. tabla de coeficientes térmicos	35
Tabla 4. Propiedades térmicas del acrílico	36
Tabla 5. Datos del calor ganado por la puerta	36
Tabla 6. Propiedades térmicas de materiales de construcción.	38
Tabla 7. Conductividad térmica poliuretano.	38
Tabla 8. Coeficientes térmicos de convección.	39
Tabla 9. Área paredes cámara y prototipo.	39
Tabla 10. Calor ganado por las paredes.	39
Tabla 11. Calor ganado por iluminación.	39
Tabla 12. Calor ganado por apertura de puertas	41
Tabla 13. Carga para enfriar el aire.	41
Tabla 14. Carga Total por refrigeración.	43
Tabla 15. Catálogo de unidades condensadoras para R134a	48
Tabla 16. Catálogo de compresores Danfoss	49
Tabla 17. Calor perdido por paredes.	51
Tabla 18. Propiedades térmicas del acrílico. Fuente: Autores	52
Tabla 19. Carga pérdida por la puerta de acrílico. Fuente: Autores.....	52
Tabla 20. Carga perdida por apertura de puertas. Fuente: Autores.....	53
Tabla 21. Carga total de calefacción. Fuente: Autores	53
Tabla 22. Costos de construcción. Fuente: Autores	77
Tabla 23. Programa mantenimiento preventivo. Fuente: Autores	80
Tabla 24. Pruebas de humedad y temperatura. Fuente: Autores	87

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Planos constructivos de la cámara climática	92
--	----

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO PARA LA CONSTRUCCION Y PROTOTIPADO DE UNA CAMARA CLIMÁTICA PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMOHIGROMETROS PARA LA FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE SANTANDER– CLÍNICA FOSCAL.*

AUTORES: RODRIGUEZ PIEDRAHITA Ana María,
RUEDA VILLANOBA Sergio Alberto.**

PALABRAS CLAVE: Diseño, cámara climática, calibración, termo higrómetros.

RESUMEN:

Para la medición y control de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) en entidades prestadoras de salud descritas en la Resolución 1441 del 6 de Mayo de 2013 del Ministerio de Salud y protección social, la Fundación Oftalmológica de Santander– Clínica Foscal utiliza instrumentos de medición que deben estar previamente calibrados. El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una cámara climática que le permita a la Clínica Foscal calibrar sus instrumentos de medición de temperatura y/o humedad sin recurrir a terceros, y construir un prototipo para realizar pruebas y experimentar.

Esta tesis contiene inicialmente la presentación de la Fundación Oftalmológica de Santander– Clínica Foscal, sus objetivos misionales y su visión. Posteriormente se da una explicación detallada de sus procesos de medición y calibración. El diseño de la cámara climática y la construcción del prototipo a escala se desarrollaron en fases: diseño, construcción del prototipo, operación y pruebas. Las primeras dos fases contemplan las alternativas de diseño para los subsistemas de calefacción/refrigeración, humidificación y control. El diseño de la cámara, además del estudio de su viabilidad económica y el montaje del prototipo a escala. En la última fase se tomarán pruebas al prototipo construido, además del análisis de resultados obtenidos.

El desarrollo del proyecto permitirá cumplir uno de las funciones misionales de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el cual comprende, el compromiso con la investigación y el desarrollo tecnológico para dar respuesta adecuada a las necesidades de la industria.

*

**

ABSTRACT

TITLE: DESIGN FOR THE CONSTRUCTION AND PROTOTYPING OF A CLIMATIC CHAMBER FOR CALIBRATING THERMOHYGROMETERS FOR THE FUNDACIÓN OFTALMOLÓGICA DE SANTANDER– CLÍNICA FOSCAL *

AUTHORS: RODRIGUEZ PIEDRAHITA Ana María,
RUEDA VILLANOBA Sergio Alberto.**

KEY WORDS:

Design, climatic chamber, calibration, thermohygrometers.

For measurement and control of environmental conditions (temperature and humidity) in health service companies described in Resolution 1441 of May 6, 2013 the Ministry of Health and Social Protection, Fundación Oftalmológica de Santander– Clínica Foscál uses measuring instruments that must be previously calibrated. This project aims to design a climate chamber that allows Clínica Foscál calibrate their temperature and / or humidity measuring instrument without resorting to other companies to do this, and built a prototype to test and experiment.

This thesis initially contains the presentation Fundación Oftalmológica de Santander FOSCAL, their missional objectives and vision. Subsequently, a detailed explanation of their measurement and calibration processes is given. The climatic chamber design, and the building of the prototype is going to be develop in phases: design, the prototype construction, operation and testing. The first two phases will include design alternatives for the subsystems heating / cooling, humidification and control, the camera design and the study of its economic feasibility, and scale prototype assembly. In the last phase the prototype will be test, and an analysis of the results.

The development of the project will fulfill one of the missionary functions of the School of Mechanical Engineering, which comprises, commitment to Research and Technological Development to adequately respond to the needs of the industry.

*

**

INTRODUCCIÓN

Las instituciones prestadoras de servicios de salud, deben brindar seguridad a los usuarios frente a los potenciales riesgos asociados al desarrollo de su actividad. Para ello debe garantizar las condiciones ambientales adecuadas para cada espacio tales como: Sala de Urgencias, salas de cirugía, cuartos de almacenamiento de farmacéuticos, laboratorios biológicos, entre otros.

Dos de las variables a controlar más importantes son la temperatura y la humedad, por lo cual el prestador debe contar con instrumentos en óptimo estado para la medición de estas variables, así como para evidenciar su registro, control y gestión. Es por esto que para garantizar la fiabilidad y trazabilidad de las medidas de estas variables y a su vez responder a los requerimientos establecidos en las normas de calidad, se hace necesaria la calibración de los instrumentos de medición los cuales son: termómetros, higrómetros y termo-higrómetros.

Para realizar la calibración de estos equipos sin recurrir a terceros es necesario para la Fundación Oftalmológica de Santander- Clínica Foscal contar con una cámara climática, el objeto de este proyecto es precisamente diseñar una cámara climática seleccionando sus subsistemas basados en un estudio de viabilidad económico, además construir un prototipo a escala para realizar pruebas.

1. PRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 MARCO ORGANIZACIONAL DE LA EMPRESA

Figura 1. Vista general de la fundación oftalmológica de Santander – clínica FOSCAL.



Fuente: Documentación fundación oftalmológica de Santander – clínica FOSCAL

1.1.1 Historia: Con el ánimo de crear un Sistema Integrado de Servicios Generales y Especializados de Salud con proyección Local y Regional de carácter comunitario, fue creado el 14 de Mayo de 1993 El Centro Médico y Clínica Fundación El Bosque; un año después, el 4 de abril de 1994 obtuvo su actual nombre **Edificio Centro Médico Carlos Ardila Lülle**.

Como respuesta a la necesidad de complementar el servicio de salud prestado por el complejo, Clínica Carlos Ardila Lülle y Fundación Oftalmológica de Santander, correspondientes a servicios médicos y hospitalarios se institucionalizó, el **Centro Médico Carlos Ardila Lülle**, cuyo fin es el de atender la creciente demanda de las diferentes especialidades de orden médico y medios de

apoyo diagnósticos; fortaleciendo de esta forma la Institución con un Staff Médico de Especialistas, que cubren las diferentes áreas de la medicina

Inició su labor con un edificio denominado Torre A que constaba de 6 pisos y en el año de 1995 se amplió a 7 el número de pisos, donde están ubicadas las áreas de módulos para consultorios médicos, locales comerciales, zonas de parqueo y demás áreas funcionales del complejo médico.

Los grandes avances médicos y científicos originaron en nuestros especialistas estar a la vanguardia capacitándose día a día, en las diferentes áreas de la medicina. Además, la necesidad de nuevas Especialidades Médicas sirvió para ampliar nuestra cobertura de atención originando así el nuevo proyecto del Centro Médico, edificando una nueva Torre denominada “Torre B” que consta de 12 pisos y diferentes áreas funcionales.

1.1.2 Junta directiva. Está conformada por un grupo de copropietarios, personas de bien en quien la asamblea ha delegado la autoridad y responsabilidad, en todas las actividades del centro médico; es el órgano encargado de trazar las políticas generales de la institución, para lograr alcanzar estándares de posicionamiento en primeras categorías a nivel Regional, Nacional e Internacional. Sus funciones están definidas en los estatutos.

1.1.3 Servicios prestados. A continuación hablaremos de algunos de los servicios prestación por la fundación oftalmología de Santander – clínica FOSCAL entre muchos otros.

1.1.3.1 Consulta externa. El centro Médico Carlos Ardila Lulle cuenta con 130 médicos en diferentes especialidades y subespecialidades, con los cuales puede realizar su consulta médica con resultados satisfactorios en la solución de su

problema de salud. Para conocer nuestras especialidades y el cuerpo médico, le invitamos a consultar el [directorio médico](#) de esta página web.

1.1.3.2 Radiología e imágenes diagnósticas. Se realizan todos los exámenes diagnósticos simples y de alta complejidad con equipos de última tecnología y un grupo humano altamente calificado, quienes están en permanente actualización y educación, integrando el servicio asistencial a la docencia y a la investigación, en beneficio de la comunidad.

1.1.3.3 Banco de sangre. Es un servicio de apoyo 24 horas al día, que garantiza el suministro de sangre total o sus componentes fraccionados a la Institución, cubriendo las necesidades tanto de las cirugías electivas, como las emergencias que demanda la clínica. Este suministro es garantizado con los más efectivos y avanzados sistemas de control, para garantizar las donaciones de componentes sanguíneos seguros y libres de enfermedades infecciosas, logrando una clasificación como ""Banco de Sangre-Categoría A"", otorgada por la Secretaría de Salud del Departamento y avalada por el Ministerio de Salud.

1.1.3.4 Centro de cáncer. El Centro de Cáncer creado recientemente, cuenta con la última tecnología en equipos para diagnóstico y prevención del cáncer, dentro de los cuales está el acelerador lineal que tiene como principal virtud que la radiación se hace sólo sobre el órgano afectado, sin comprometer ningún otro. Por ejemplo, alguien que tenga cáncer de hígado y le realicen este nuevo tratamiento, no sufrirá irradiación sobre los tejidos del páncreas o el riñón.

1.1.3.6 Unidad renal. Con un grupo interdisciplinario conformado por cinco nefrólogos, enfermeras, trabajadora social, psicóloga, nutricionista y la mejor tecnología, el Centro Médico CAL ofrece los estudios y el diagnóstico profesional

sobre el tratamiento de la enfermedad renal, orientado bajo las premisas de Fresenius Medical Care de Colombia: "En línea con sus necesidades".

Los pacientes con deterioro de la función renal cuentan con el programa Clínica de Retardo de la Insuficiencia Renal - CRIR, que brinda estrategias tendientes a retardar la evolución hacia los estadios terminales de la falla renal. Con mayor frecuencia los beneficiarios de este programa son los pacientes con hipertensión arterial, diabetes mellitus, obstrucción en las vías urinarias o enfermedades sistémicas que involucren el riñón.

1.1.4 Descripción organizacional

Misión. Somos una organización dedicada a la prestación de Servicios Médicos / Odontológicos Generales, Especializados y Medio de apoyo diagnóstico, que congrega una diversa gama de alternativas en cuanto a procedimientos, consultas y tecnología de punta, propias de cada una de las diferentes especialidades medidas; todo integrado en un solo sitio con el ánimo de satisfacer las múltiples necesidades de cada uno de nuestros usuarios que pertenecen al entorno regional y nacional; contribuyendo de este modo al mejoramiento de la calidad de vida de las personas que solicitan nuestros servicios.

Visión. Como organización dedicada a la prestación de Servicios Médicos y Apoyos Diagnósticos Integrados, buscamos a través de nuestro especializado equipo humano el crear USUARIOS LEALES; identificando las necesidades en nuestra población, para dar solución oportuna y eficaz a través de "SERVICIOS DE SALUD, DE EXCELENTE CALIDAD". De ésta forma trascenderemos socialmente la cobertura regional a nacional, acorde con nuestra infraestructura y tecnología de punta, que nos permitirá proyectarnos internacionalmente de acuerdo a las tendencias del mercado tales como, Alianzas Estratégicas y Globalización de Servicios.

1.2 DESARROLLO METODOLÓGICO

1.2.1 Descripción del Problema. La calidad de la atención y la seguridad de los pacientes es deber de toda entidad prestadora de servicios de salud, para garantizarlas y con esto habilitar sus servicios deben cumplir con ciertos procedimientos y condiciones regidas por el Ministerio de Salud y de Protección Social.

La Fundación Oftalmológica de Santander- Clínica FOSCAL además de cumplir rigurosamente con estas condiciones y procedimientos, está acreditada nacionalmente por el Ministerio de protección social y el ICONTEC como una entidad que entrega servicios de salud seguros y de alta calidad.

Para continuar siendo una entidad segura y de alta calidad se hace necesario garantizar las condiciones ambientales óptimas en cada uno de los espacios y este es uno de los mayores compromisos de la Fundación Oftalmológica de Santander- Clínica FOSCAL, para ello debe medir controlar y gestionar condiciones de temperatura y humedad apropiadas para cada espacio.

Para la medición de la temperatura se utilizan termómetros, de la humedad higrómetros o para tener una medida conjunta de las variables se usan termohigrómetros. Un Termohigrómetro es un instrumento que mide la temperatura y la humedad relativa del medio ambiente. Actualmente la Fundación Oftalmológica de Santander- Clínica FOSCAL cuenta con 70 termómetros y 60 termohigrómetros.

Es necesario también garantizar la fiabilidad y trazabilidad de estas medidas y para ello se deben calibrar los instrumentos de medición periódicamente. Calibrar un instrumento de medida es básicamente comparar los valores de medición obtenidos por éste con la medida de un patrón de referencia. La Clínica FOSCAL cuenta actualmente con un Termohigrómetro patrón, pero no con la capacidad de calibrar sus instrumentos debido a la falta de condiciones ambientales controladas

y las pocas garantías de la trazabilidad del patrón, sin ésta correcta trazabilidad la Clínica FOSCAL no puede garantizar sus resultados de medida ni la incertidumbre que asigna a los mismos.

1.2.2 Justificación del proyecto. El desarrollo del país y los avances del sector salud, hacen que se ajusten periódicamente y de manera progresiva los estándares de calidad para los diversos componentes del Sistema Obligatorio de Garantía de Calidad de la Atención de Salud. Para la Clínica FOSCAL es necesario estar en constante progreso para así satisfacer las cambiantes condiciones para la habilitación de todos sus servicios de salud. De igual manera es obligatorio para un prestador de servicios de salud contar con alta capacidad tecnológica y científica de acuerdo con el Ministerio de Salud y Protección Social.

Para habilitar todos los servicios de salud que presta la Clínica FOSCAL, entre muchos otros ítems debe garantizar las condiciones ambientales adecuadas para cada espacio dentro de sus instalaciones. Para ello mide y controla las condiciones ambientales más importantes, humedad y temperatura, utilizando termohigrómetros previamente calibrados y en excelentes condiciones. Para calibrar estos instrumentos actualmente es necesario contratar una empresa que cuenta con una cámara climática y se dedica a prestar este servicio de calibración, esta compañía se encuentra ubicada en Bogotá por lo cual la FOSCAL se ve obligada a enviar sus instrumentos acarreado esta actividad gastos extras y la imposibilidad de usar sus instrumentos durante el tiempo de este proceso.

Contribuyendo con la Clínica FOSCAL para dar solución a éste problema, se realiza este proyecto de grado que busca el diseño para la construcción de una cámara climática que cumpla con la normatividad de diseño y le permita realizar a satisfacción el proceso de calibración y aumentar la disponibilidad de equipos calibrados, igualmente aumentar su capacidad tecnológica y científica.

El costo directo que le representa a la Clínica FOSCAL calibrar un termohigrómetro es de \$ 90.000 + iva y un termómetro es de \$ 60.000 + iva, a esto se le debe sumar el costo por el transporte del instrumento y la posibilidad de la pérdida de los instrumentos o el daño de alguno.

El alcance del proyecto es realizar el diseño para la construcción de una cámara climática que permita la calibración de termohigrómetros, higrómetros y termómetros, en un rango de temperatura entre los 0-70°C y de humedad relativa entre 10 % - 80%, suministrando los planos detallados para su construcción así como un estudio económico de la viabilidad del proyecto y los manuales de mantenimiento y uso. Además, se construirá un prototipo a escala con iguales rangos de temperatura y humedad.

Con el desarrollo de este proyecto la Clínica FOSCAL podrá:

- Autosatisfacer su necesidad de calibración y reducir costos
- Aumentar la disponibilidad de equipos calibrados y con esto la calidad de sus servicios.
- A largo plazo certificar y prestar el servicio de calibración a otras empresas prestadoras de servicios de salud.

1.2.4 Objetivos específicos

- Diseñar una cámara climática industrial compuesta por los sistemas de humidificación, refrigeración/calefacción y de control, que permita la calibración automática de termo-higrómetros, higrómetros y termómetros en un rango de temperatura de 0 – 70 ° C y un rango de humedad relativa entre 10% - 80%, basándonos en la Norma DIN 12880:2007 y en el manual ASHRAE de sistemas y equipo.

- Suministrar a la Fundación Oftalmológica de Santander- Clínica Foscal los planos para la construcción de la cámara, además del estudio económico que permita evaluar la viabilidad del proyecto.
- Crear los manuales de uso y mantenimiento de la cámara climática.
- Construir un prototipo a escala de cámara climática para pruebas, que permita controlar temperatura y humedad automáticamente, en un rango de temperatura de 0 – 70 ° C y un rango de humedad relativa entre 10% - 80%.

2. PROCESO DE DISEÑO

2.1 ESTABLECIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS

En un espacio de (0.7x0.7x0.7)m se debe controlar:

- Temperatura: (0 – 70)° Celsius
- Humedad: (10 - 80)% humedad relativa

Asegurando la estabilidad del ambiente para lograr la calibración de los termohigrometros. Adicionalmente a estos requerimientos para el diseño de la cámara se debe tener en cuenta el espacio donde estará ubicada, el cual es en las instalaciones de la clínica Foscal la cual se encuentra en la ciudad de Bucaramanga, a continuación se presentan los datos geográficos y climáticos.

Tabla 1. Datos geográficos y climáticos de Bucaramanga

Temperatura promedio	25 °C
Humedad relativa promedio	70%
Velocidad del viento promedio	2 m/s
Presión atmosférica promedio	0,989 atm

Fuente: autores

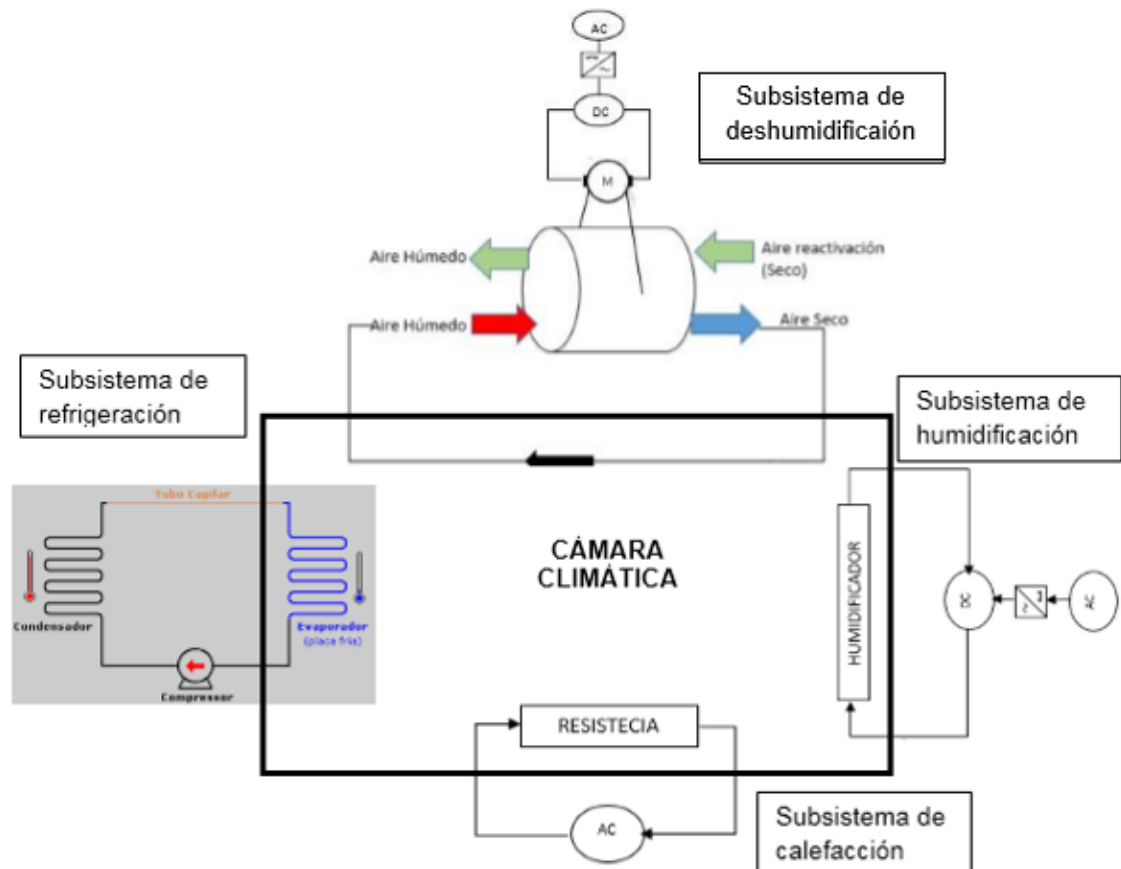
2.2 DISEÑO CONCEPTUAL

El prototipo se compone de 6 subsistemas como se observa en la figura 2, a continuación se expondrá la función de cada subsistema dentro del prototipo, sus componentes principales y principio de funcionamiento en el siguiente orden.

- Subsistema mecánico de la cámara climática.
- Subsistema de refrigeración.
- Subsistema de calefacción.

- Subsistema de humidificación.
- Subsistema de deshumidificación.
- Subsistema de control.

Figura 2. Esquema general de los subsistemas de la cámara climática. Fuente: autores



2.2.1 Subsistema estructural de la cámara climática

El subsistema de la cámara climática está compuesto por:

- Paredes
- Aislamiento
- Puerta

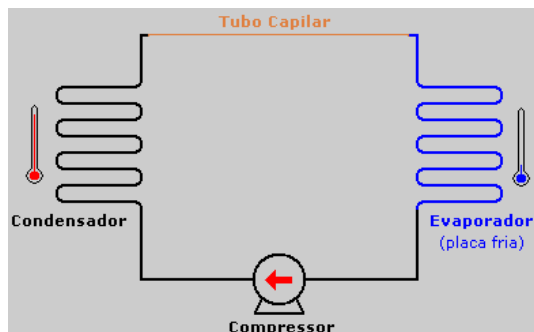
La función de este subsistema consiste en delimitar el espacio en el que se van a controlar las condiciones ambientales y así mismo mantenerlo aislado de las condiciones ambientales exteriores.

2.2.1.1 Componentes del subsistema de la cámara climática

- Paredes: las paredes de la cámara serán construidas en lamina de acero inoxidable para que no se vea afectado por el ambiente corrosivo interior debido a la alta humedad que manejará la cámara, adicionalmente se buscó construir el prototipo de la manera más estética posible.
- Aislamiento: es necesario aislar el espacio a controlar para evitar variaciones en las condiciones ambientales, uno de los aislantes más usados en la industria de la refrigeración es el poliuretano expandido por su bajo coeficiente de transferencia de calor, por su rapidez y sencillez de aplicación y su bajo costo entre otras características.
- Puerta: la puerta está compuesta por lámina de acero inoxidable, aislante de poliuretano y acrílico que aunque no es un buen aislante térmico se hace necesario su uso para permitir la visualización de los instrumentos a calibrar dentro de la cámara.

2.2.2 Subsistema de refrigeración

Figura 3. Esquema subsistema de refrigeración



Fuente: <http://div-tecnico-cientifica.blogspot.com.co/>

El sistema seleccionado es un sistema de refrigeración por compresión de vapor, el cual será el encargado de llevar la temperatura dentro de la cámara hasta 0°C, este sistema fue escogido por su alta eficiencia y alta oferta en el mercado. Está compuesto por los siguientes elementos:

2.2.2.1 Componentes del subsistema de refrigeración

- **Compresor:** este elemento es el encargado de bombear el gas refrigerante a través del circuito, además aumenta la temperatura y presión del refrigerante de forma isentropica.

Un aspecto importante a tener en cuenta en el momento de la selección de este elemento además de la carga térmica, es la temperatura de evaporación en el ambiente a controlar entre más alta sea esta temperatura mayor será la potencia requerida por el motor del compresor para aumentar la presión y temperatura del refrigerante.

Es muy importante ser muy precisos en el momento de la selección del compresor puesto que este elemento será el que me delimite la carga térmica que se puede extraer del ambiente.

- **Evaporador:** este elemento transfiere el calor absorbido del espacio refrigerado al refrigerante que circula por el sistema, en este elemento el refrigerante sale como vapor a baja presión y temperatura y entra al compresor para ser comprimido e impulsado al condensador.

Es importante tener en cuenta, que este elemento estará situado dentro de la cámara climática por decisión de diseño, y por lo tanto está limitado por las dimensiones interiores de la misma.

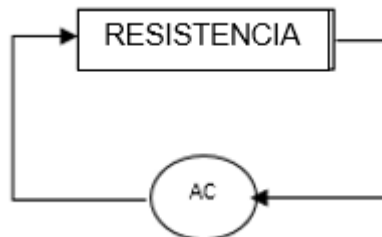
- Condensador: este elemento disipará el calor del sistema térmico de refrigeración por compresión de vapor que fue absorbido previamente por el evaporador y la energía en forma de trabajo introducida por el compresor.

La selección inadecuada de este elemento puede crear consecuencias como presiones excesivas, pérdidas en la capacidad de refrigeración, temperaturas no deseadas y consumos energéticos adicionales.

- Tubo capilar: La función de este elemento es mantener la diferencia de presión entre el condensador (alta presión) y el evaporador (baja presión). El uso de un tubo capilar, permite seleccionar compresores de bajo torque de arranque, lo cual se traduce en un menor consumo de energía.

2.2.3 Subsistema de calefacción

Figura 4. Esquema subsistema de calefacción

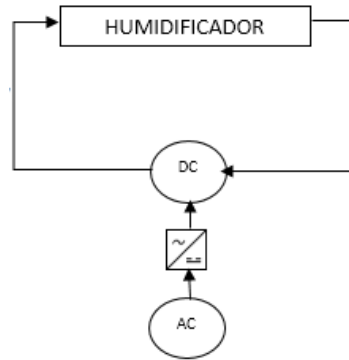


Fuente: autores

El sistema seleccionado es un sistema de calefacción por medio de resistencias eléctricas tubulares las cuáles serán las encargadas de elevar la temperatura hasta 70°C, la cual se acepta perfectamente a nuestras necesidades y limitaciones de espacio dentro de la cámara, de igual manera por su bajo costo y amplia oferta.

2.2.4 Subsistema de humidificación

Figura 5. Subsistema de humidificación



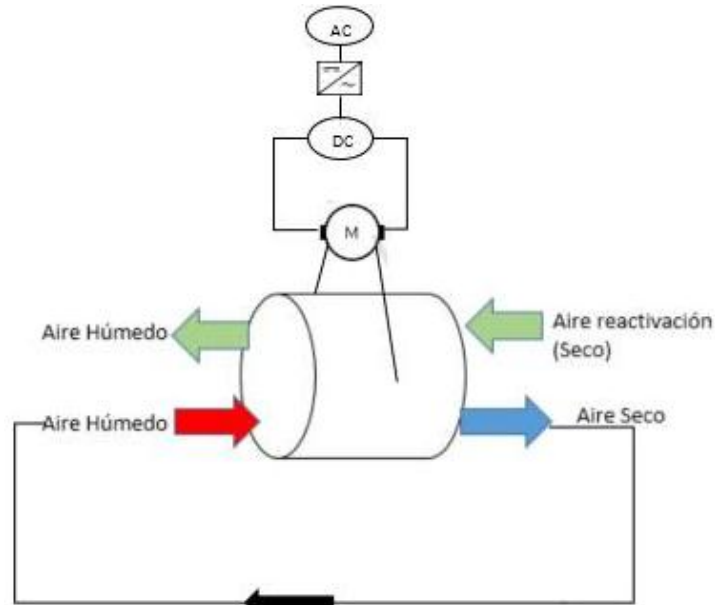
Fuente: autores

La humidificación por ultrasonido será la usada en este subsistema por su fácil instalación y puesta en marcha a comparación de otros sistemas, porque no afecta considerablemente la temperatura dentro del ambiente de la cámara, no se genera ningún peligro en su manipulación ya que no maneja altas temperaturas.

Un humidificador ultrasónico utiliza vibraciones de diafragma de metal con una frecuencia de ultrasonido para formar una niebla fría que se dispersa en el aire circundante, lo que aumenta la humedad en la zona, de igual manera este tipo de vibración no puede ser escuchada por los seres humanos lo que lo hace insonoro.

2.2.5 Subsistema de deshumidificación

Figura 6. Subsistema de deshumidificación



Fuente: autores

Para este subsistema se construirá una rueda desecante por la cual pasará aire húmedo extraído de la cámara, esta rueda contiene en su interior silica gel que absorbe la humedad dando como resultado aire seco que entrará de nuevo a la cámara.

La silica gel es un adsorbente de agua de gran porosidad, no es tóxico ni inflamable, tampoco es químicamente reactivo por estas razones fue escogido este material.

Se decidió diseñar y construir esta rueda por su sencilla construcción y por la posibilidad de deshumidificar el aire sin el uso de la refrigeración para lograr un control independiente de temperatura y humedad.

2.2.6 Subsistema de control. En el prototipo se tienen dos variables a controlar, la temperatura y la humedad. El valor de estas dos variables se puede aumentar o disminuir de forma independiente para tener el rango para el cual se diseñó la cámara climática. Por lo tanto se controlarán de manera independiente todos los subsistemas anteriores.

La selección de control de cada uno de los subsistemas será escogido y detallado en un capítulo posterior.

2.3 DISEÑO DETALLADO

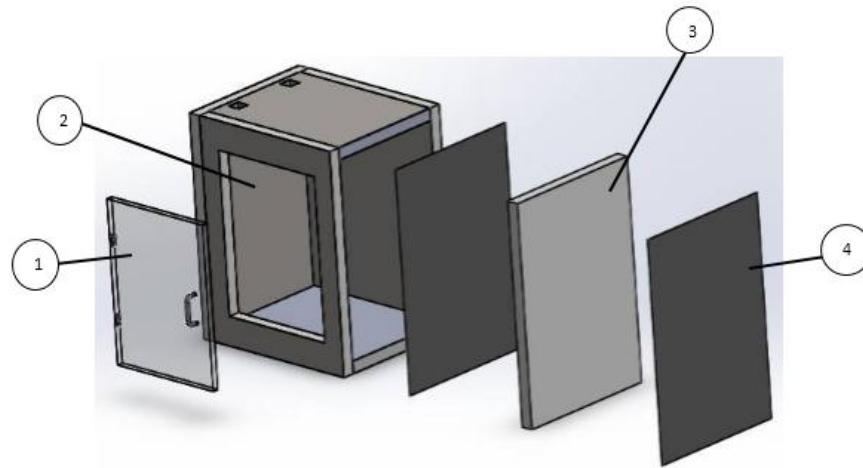
2.3.1 Subsistema estructural de la cámara. El prototipo se construyó para tener dimensiones muy cercanas a las de una cámara climatizada comercial, una de las razones es para facilitar el estudio de su viabilidad económica, estas son las dimensiones del prototipo y de la cámara climatizada a diseñar.

Tabla 2. Dimensiones de la cámara climática y el prototipo.

	prototipo	cámara climatizada
ancho [m]	0,7	0,65
alto [m]	0,7	0,785
profundidad [m]	0,7	0,485
Área de paredes [m ²]	2,45	1,9
área de puerta [m ²]	0,08725	0,51025
volumen [m ³]	0,343	0,2474

Fuente: autores

Figura 7. esquema general del subsistema mecánico



Fuente: autores

1. Puerta.
2. Bombillo, iluminación interior.
3. Aislante.
4. Paredes.

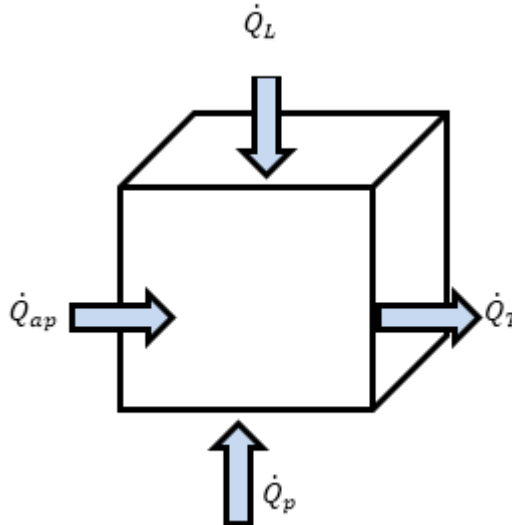
- La puerta de la cámara será construida en acrílico para permitir la visualización de los instrumentos a calibrar, el espesor del acrílico es de 0.006m por ser el más comercial.
- Para la iluminación interior se usará un bombillo fluorescente de 15 W.
- Se utilizará un aislante de poliuretano de 5cm, para minimizar pérdidas o ganancias de calor dentro de la cámara. Las paredes que constituyen la cámara climática son de tipo sándwich conformadas como lo muestra la siguiente figura.
- Las paredes serán construidas en lámina de acero inoxidable AISI 410 por sus propiedades mecánicas y anticorrosivas.

2.3.2 Subsistema de refrigeración

2.3.2.1 Cálculo de las cargas térmicas para la refrigeración. Para el diseño del subsistema es necesario calcular previamente la carga térmica a retirar dentro de la cámara. Las cargas térmicas a calcular son las siguientes.

- Calor ganado puerta de acrílico (\dot{Q}_{pa})
- Calor ganado por las paredes (\dot{Q}_p)
- Calor ganado por el equipo de iluminación (\dot{Q}_L)
- Calor ganado por la apertura de puertas (\dot{Q}_{ap})
- Calor ganado por motores y ventiladores (\dot{Q}_m)
- Puentes térmicos por los tubos (\dot{Q}_{tubos})
- Calor total (\dot{Q}_T)

Figura 8. Cargas térmicas en el proceso de refrigeración



Fuente: autores

$$\dot{Q}_T = \text{Carga total}$$

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_{pp} + \dot{Q}_{pa} + \dot{Q}_l + \dot{Q}_{ap} + \dot{Q}_a + \dot{Q}_m \quad (1)$$

Calor ganado por la puerta de acrílico

$$\dot{Q}_{pa} = U * A_a * \Delta T \quad (2)$$

Tenemos que, U es el coeficiente global de transferencia de calor para la puerta de acrílico, está dado por:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_2}} \quad (3)$$

- $\frac{1}{h_1}$ y $\frac{1}{h_2}$ son los coeficientes térmicos de las superficies expuestas al aire exterior e interior respectivamente.

Estos coeficientes han sido tomados de los libros termotecnia, M. Claver Salas, y del formulario del frio, Pierre Rapin.

Tabla 3. tabla de coeficientes térmicos

Descripción	f [W/m ² °C]
superficies:	
abiertas no protegidas por el viento	29,1
con circulación forzada de aire [h1]	17,446
con circulación natural del aire [h2]	8,1413
pisos:	
pisos en contacto directo con el suelo	∞

Fuente: formulario del frio, Pierre Rapin

- e_3 es el espesor del acrílico = 0,006 m.
- k_3 conductividad térmica del acrílico.

Tabla 4. Propiedades térmicas del acrílico

propiedades térmicas del acrílico	norma	unidad	colada	extrusión
conductividad térmica	DIN 52612	W/mK	0,19	0,19

Fuente: autores

Entonces,

$$U = 4.72 \frac{W}{m^2 * ^\circ C}$$

Además que A_a es el área de la puerta de acrílico.

$$A_a = \text{alto} \times \text{ancho} \quad (4)$$

$$A_a = 0.35 * 0.25 = 0.0875 \text{ m}^2$$

área de puerta [m ²]	0,0875	0,51025
----------------------------------	--------	---------

ΔT es la diferencia de la temperatura ambiente y la de la cámara, tomaremos la mínima temperatura para así calcular la máxima carga.

$$\Delta T = T_{ext} - T_{int} \quad (5)$$

$$\Delta T = 25 - 0 [^\circ C]$$

$$\Delta T = 25 [^\circ C]$$

$$\dot{Q}_{pa} = 4.72 \frac{W}{m^2 * ^\circ C} * 0.0875 \text{ m}^2 * 25^\circ C$$

$$\dot{Q}_{pa} = 10.325 \text{ W}$$

Tabla 5. Datos del calor ganado por la puerta

Calor Ganado por la puerta de acrílico	
Prototipo	Cámara climatizada
10.325 [W]	60,21 [W]

Fuente: autores

Calor ganado por las paredes.

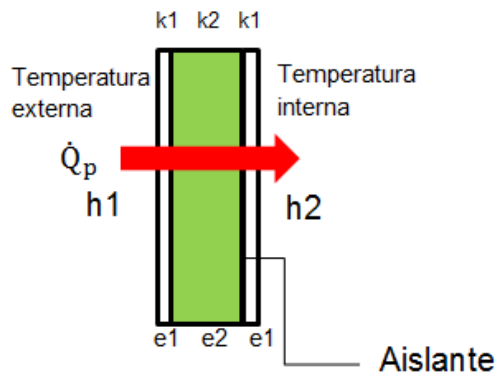
$$\dot{Q}_{pp} = U * A_p * \Delta T \quad (6)$$

Dónde:

\dot{Q}_{pp} es la ganancia de calor desde la superficie externa, está dividido en la ganancia de calor por las paredes y por la puerta de acrílico puesto que son de materiales diferentes y por lo tanto tienen diferentes propiedades térmicas.

U es el coeficiente global de transferencia de calor, para las paredes. En la figura se muestra, como el calor fluye, atravesando las dos capas de lámina de acero y la capa de aislante térmico, este gráfico corresponde al calor ganado por conducción en las paredes.

Figura 9. calor transferido por conducción



Fuente: autores

Tenemos entonces que

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1 * A_1} + \frac{2e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_2 * A_2}} \quad (7)$$

- $\frac{e_1}{k_1}$ es la resistencia térmica superficial de la lámina de acero.

$$e_1 = \text{espesor lámina de acero} = 0,001 \text{ m}$$

$$K_1 = \text{Conductividad lámina de acero} = 58 \frac{W}{mk}$$

Tabla 6. Propiedades térmicas de materiales de construcción.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN				
Material	Densidad(kg/m ³)	Calor específico(J/(kg·K))	Conductividad térmica(W/(m·K))	Difusividad térmica (m ² /s) (x10 ⁻⁶)
Acero galvanizado	7850	460	47-58	13,01-16,06

Fuente:<http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>

- $\frac{e_2}{k_2}$ es la resistencia térmica superficial de la espuma de poliuretano.

$$e_2 = \text{espesor poliuretano} = 0,05 \text{ m}$$

$$K_2 = \text{Conductividad poliuretano} = 0,026 \frac{W}{mk}$$

Tabla 7. Conductividad térmica poliuretano.

Insulation	Thermal Conductivity <i>k</i> , W/(m·K)
Polyurethane board (R-11 expanded)	0.023 to 0.026

Tomada de ASHRAE Handbook R12 sección carga de refrigeración.

- $\frac{1}{h_1}$ y $\frac{1}{h_2}$ son los coeficientes térmicos de las superficies expuestas al aire exterior e interior respectivamente.
- A_1 y A_2 son tomados por el área más grande de transferencia de calor A_p para efecto de calcular la carga máxima.

Tabla 8. Coeficientes térmicos de convección.

con circulación forzada de aire [h1]	17.446
con circulación natural del aire [h2]	8,1413

Fuente: Autores

- A_p es el área total de las paredes

Tabla 9. Área paredes cámara y prototipo.

Área de paredes [m ²]	2,45	1,9
-----------------------------------	------	-----

Fuente: Autores

Tabla 10. Calor ganado por las paredes.

Calor Ganado por las paredes	
Prototipo	Cámara climatizada
15,72 [W]	18,55 [W]

Fuente: Autores

Calor ganado por la iluminación.

Ya que la cámara va a contar con iluminación en su interior se debe calcular la carga generada por la fuente de luz suponiendo que la potencia de la lámpara se transforma en calor sensible.

$$\dot{Q}_L = W * F_{ul} * F_{sa} \quad (8)$$

W = Potencia del fluorescente de iluminación = 15w

F_{ul} = Factor de utilización = 1 (usualmente) es el porcentaje de potencia utilizada.

F_{sa} = Factor espectral = 1,3 para una lámpara a 120 V.

Esta ecuación es tomada del Capítulo 28 del Fundamentals "Non residential cooling and heatin load calculation" ASHRAE.

Tabla 11. Calor ganado por iluminación.

Calor Ganado por iluminación	
Prototipo	Cámara climatizada
19,5 [W]	19,5 [W]

Fuente: Autores

Calor ganado por la apertura de puertas

La cámara climatizada debe recuperar la estabilidad de sus condiciones ambientales en el menor tiempo posible después de abrir sus puertas, es por esto que esta carga térmica que entra a la cámara debido a la diferencia de temperatura entre el ambiente interior y exterior es sumamente importante.

De igual manera con el desarrollo del cálculo de la carga total hemos notado que esta es la carga más significativa, por lo tanto se debe tratar de ser lo más preciso.

Se calculó la carga usando un método de pruebas, en estas pruebas se enfriaba el aire interior del prototipo hasta 0° C posteriormente se apagaba el sistema de refrigeración y se procedía a abrir las puertas para que el aire dentro de la cámara fuera reemplazado en su totalidad por el aire que provenía del ambiente, se hizo una toma de datos mediante el uso de un termómetro en cada una de la pruebas y se realizó el cálculo de una carga promedio para que la temperatura del prototipo se recuperara en el menor tiempo posible.

El tiempo promedio para la temperatura del aire pase de 0° a la temperatura ambiente (25°) es de 18 segundos, los primeros 5 segundos se notó un cambio más acelerado pasando de 0°C a 12°C, luego en los siguientes 10 segundos tan solo subió 11°C la temperatura, en los 3 segundos restantes alcanzo la temperatura ambiente. Se realizó el cálculo de la carga usando los datos promedio y se obtuvo una carga de 421,23 W.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (9)$$

$$\dot{m} = 0,343 \text{ kg}/18s$$

$$C_v = 1005 \frac{J}{kg * ^\circ C}$$

$$\Delta T = 25^\circ C$$

$$\dot{Q} = 421,23 \text{ W}$$

Tabla 12. Calor ganado por apertura de puertas

Calor Ganado por apertura de puertas	
Prototipo	Cámara climatizada
421,23 [W]	421,32 [W]

Se supone una carga igual para la cámara climatizada ya que las dimensiones de esta serán muy similares a las medidas del prototipo.

Calor a extraer para enfriar el aire de la cámara

La mínima temperatura a trabajar en la cámara es de 0°C, para obtener la carga máxima usaremos un diferencial de temperatura entre la temperatura ambiente y esta temperatura mínima.

$$\dot{Q}_c = \frac{m_{aire} * C_v * [t_1 - t_2]}{t} \quad (10)$$

$$m_{aire} = \rho * V_{camara} \quad (11)$$

$$V_{camara} = ancho * alto * profundidad \quad (12)$$

$$\rho = 1$$

$$C_v = 718 \text{ J/kg.}^\circ\text{c}$$

$$t = 240 \text{ s}$$

Se toma un tiempo de 4 minutos para enfriar desde la temperature ambiente.

Tabla 13. Carga para enfriar el aire.

Carga a extraer para enfriar el aire	
Prototipo	Cámara climatizada
25,65 [W]	37,01 [W]

Fuente: Autores

Calor ganado por motores y ventiladores

El cálculo de esta carga de basa del libro Cooling and Heating Load Calculation Manual de la ASHRAE, el cual da la carga ganada por el evaporador el cual está ubicado en el interior de la cámara teniendo un motor de 60W

$$\dot{Q}_m = \left(\frac{p}{EM} \right) * F_{UM} * F_{LM}$$

Donde:

p = Potencia del motor en W

EM = Eficiencia del motor = 0.825

F_{UM} = Factor de uso = 1.0

F_{LM} = Factor de carga del motor = 1.0

Entonces:

$$\dot{Q}_m = \frac{60}{0.825} * 1 * 1 = 72,72 \text{ W}$$

De igual manera se calcula la energía transferida por parte del sistema de refrigeración ya que unidad condensadora se ubicara en la parte superior de la cámara, este cálculo se hace por medio del método de la resistencia de los diferentes tipos de transferencia de calor presentes y se desprecia ya que el valor obtenido es insignificante.

Calculo de la carga de puentes térmicos por tubos

La carga por puentes térmicos por los tubos se realiza por el método sencillo de transferencia de calor por conducción en el eje axial, esta carga es despreciada ya que esta carga es muy mínima.

Tabla 14. Carga Total por refrigeración.

Carga Total [W]		
	Prototipo	Cámara climatizada
Calor ganado por paredes	15,72	18,55
Calor ganado por acrílico	10,325	60,25
Calor Ganado por iluminación	19,5	19,5
Calor ganado por apertura puertas	421,23	421,23
Calor a extraer para disminuir temperatura	25,65	37,01
Calor ganado por motores y ventiladores	72,72	93,45
CARGA TOTAL	565,145	649,99

2.3.2.2 Selección subsistema de refrigeración. Este subsistema comprende una unidad condensadora (compresor, condensador y elemento de expansión) y un evaporador.

Selección del Evaporador

Las consideraciones generales para seleccionar el evaporador, son la carga a retirar es decir la capacidad que debe tener el sistema, la temperatura de evaporación del refrigerante, el tipo de refrigerante y la temperatura ambiente.

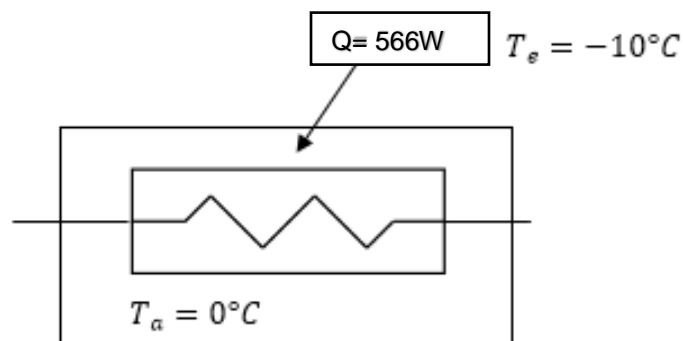
- Capacidad del sistema: La cargas térmicas que afectan al prototipo han sido calculadas en la sección 2.3.2.1, obteniendo una carga total de 566 W el evaporador deberá tener la capacidad de retirar esta carga del sistema.
- Temperatura de evaporación del refrigerante: El ambiente dentro de la cámara en su punto más frío estará a 0° C y en su punto más cálido a 70 °C, además se enfriará un gas, aire en este caso, que tendrá una humedad relativa máxima de 80 %. Todo esto lleva a seleccionar un delta de temperatura en el evaporador de 10°C, tanto para garantizar la humedad en la cámara como para proteger el evaporador de muy altas temperaturas. Por lo tanto

Temperatura de evaporación = Ambiente - 10° C = -10°C

Temperatura de evaporación = -10°C

- Tipo de refrigerante: El refrigerante escogido es el R134a el cual no produce contaminación al medio ambiente, no contiene átomos de cloro por lo cual no causa ningún daño a la capa de ozono, es seguro de usar ya que es ignífugo y tiene una mejor conductividad de calor en comparación con otros refrigerantes usados comúnmente.

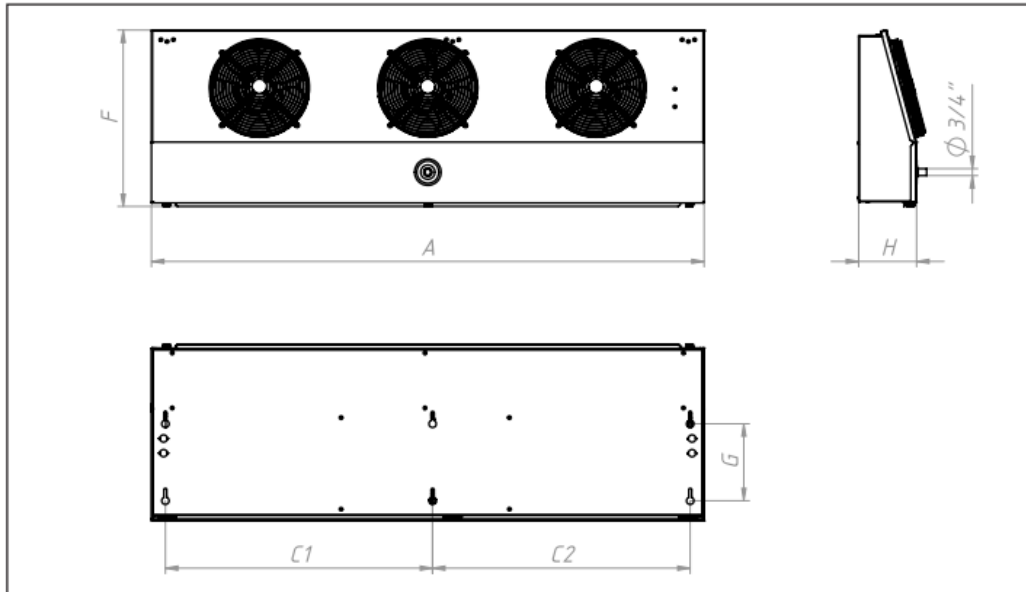
Figura 10. Esquema Evaporador. Fuente: Autores.



Selección.

El evaporador seleccionado es un evaporador de baja silueta diseñado específicamente para pequeñas cámaras frigoríficas.

Figura 11. Dimensiones Evaporador



Fuente: Catálogo aeroevaporadores García Cámara.

Figura 12. Catálogo para la selección del evaoprador

SEPALETA 6 mm	MODELO MODEL	CAPACIDAD COND. ESTANDAR EN328 STANDAR CONDITIONS EN328				SUPERFICIE AREA	VENTILADORES FANS				PESO WEIGHT
		EN328 (*) W	SC1 W	SC2 W	SC3 W		Caudal Air Flow m3/h	n x Ø	A	W	
						m2					
MBS161B	154	259	177	142	0,90	320	1x200	0,19	29	4,6	
MBS241B	251	422	289	231	1,30	300	1x200	0,19	29	4,9	
MBS162B	441	741	507	406	1,80	640	2x200	0,38	58	8,1	
MBS242B	503	844	578	462	2,70	600	2x200	0,38	58	8,7	
MBS243B	754	1.267	867	694	4,00	900	3x200	0,57	87	12,6	
MBS361B	862	1.448	991	793	3,13	650	1x250	0,42	60	8,6	
MBS244B	1.024	1.721	1.178	942	5,30	1200	4x200	0,76	116	16,3	
MBS362B	1.765	2.965	2.030	1.624	6,25	1300	2x250	0,84	120	15,4	
MBS363B	2.687	4.514	3.090	2.472	9,38	1950	3x250	1,26	180	22,9	
MBS364B	3.597	6.044	4.137	3.310	12,50	2600	4x250	1,68	240	28,6	

(*) T° de entrada de aire 0 °C y 0 %Hr, T° evap -8 °C

SC1 T° de entrada de aire 10 °C, T° evap 0 °C

SC2 T° de entrada de aire 0 °C, T° evap -8 °C

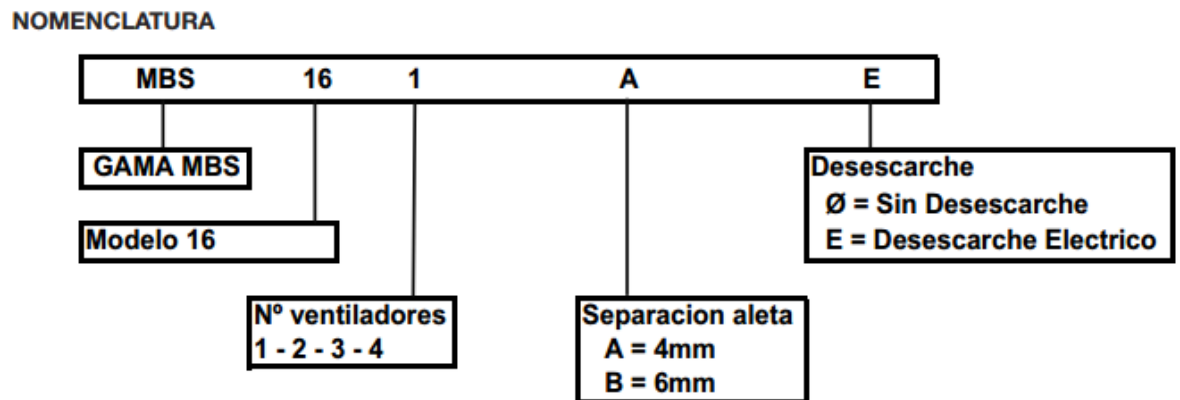
SC3 T° de entrada de aire -18 °C, T° evap -25 °C

DATOS COMUNES	MODELO MODEL		VOLUMEN VOLUME	DESESCARCHE DEFROST	CONEXIONES CONNECTIONS		DESAGÜE DRAIN PIPE	MEDIDAS DIMENSIONS					
					IN	OUT		C1 mm	C2 mm	G mm	F mm	H mm	A mm
	dm3	W			Inches								
MBS161A	MBS161B	0,50	500	6 mm	9 mm	3/4"	287	-	185	446	143	422	
MBS162A	MBS162B	0,80	650	6 mm	9 mm	3/4"	587	-	185	446	143	722	
MBS241A	MBS241B	0,70	500	6 mm	9 mm	3/4"	287	-	185	446	143	422	
MBS242A	MBS242B	1,30	650	6 mm	9 mm	3/4"	587	-	185	446	143	722	
MBS243A	MBS243B	1,80	1.000	12 mm	12 mm	3/4"	443	443	185	446	143	1022	
MBS244A	MBS244B	2,60	1.100	12 mm	12 mm	3/4"	615	572	185	446	143	1322	
MBS361A	MBS361B	1,22	700	9 mm	9 mm	3/4"	514	-	210	482	186	590	
MBS362A	MBS362B	2,45	1.500	1/2"	1/2"	3/4"	974	-	210	482	186	1050	
MBS363A	MBS363B	3,67	2.400	1/2"	1/2"	3/4"	730	704	210	482	186	1510	
MBS364A	MBS364B	4,90	3.000	1/2"	1/2"	3/4"	980	914	210	482	186	1970	

Fuente. Catálogo aeroevaporadores García Cámara.

El fabricante es GELPHA un empresa española que trae sus productos por medio de una importadora de la ciudad de Medellín, la referencia MBS361B cumple los requerimientos tanto de potencia como de sus dimensiones.

Figura 13. Descripción código evaporador. Fuente: Catálogo aeroevaporadores García Cámara.



Selección Unidad Condensadora.

Consideraciones generales.

En la selección de la unidad condensadora se deben tener en cuenta los factores que determinan el tamaño de la misma, los cuales son:

1. Capacidad del sistema de refrigeración:

La capacidad es determinada por los datos geográficos donde será ubicada la cámara climática y por los cálculos de las cargas térmicas presentes en el sistema los cuales se realizaron en el punto 2.3.2.1 dando una carga total de 566 W.

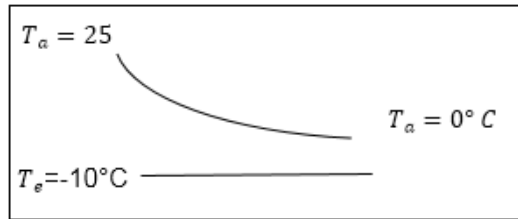
2. Temperatura de evaporación del refrigerante:

La temperatura de evaporación del refrigerante tomada es de -10°C la cual fue explicada en la selección del evaporador por la temperatura mínima y máxima

que se debe alcanzar dentro de la cámara, en la siguiente gráfica se muestra el comportamiento de la temperatura del refrigerante dentro del evaporador.

Figura 14. Temperatura evaporación y ambiente.

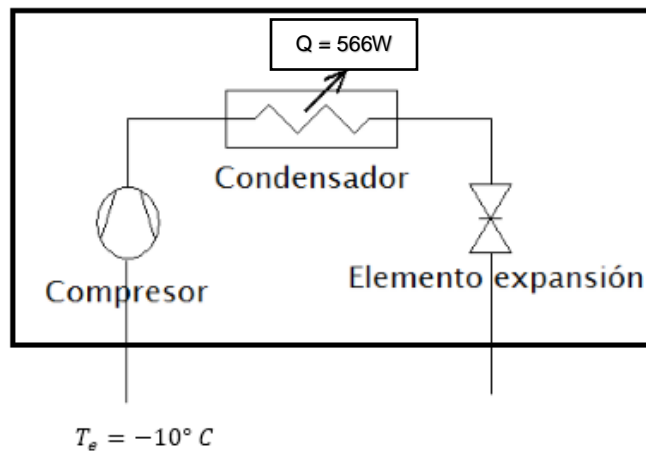
Fuente. autores



Temperatura de evaporación = 0 - 10° C = -10°C

3. Tipo de refrigerante: El refrigerante usado es el R134a, su selección ha sido previamente justificada en la selección del evaporador.
4. Temperatura ambiente:
La temperatura ambiente es determinada por el lugar donde será ubicado el prototipo el cual es la ciudad de Bucaramanga y tomamos una temperatura ambiente promedio de 30°C.

Figura 15. Esquema Unidad Condensadora. Fuente: Autores



Selección

La unidad condensadora de la marca Danfoss Referencia OP-UCGC011, satisface los requerimientos, delimitados por la carga, la temperatura de evaporación y ambiente. A continuación se presentan sus especificaciones técnicas.

Tabla 15. Catálogo de unidades condensadoras para R134a

QUICK REFERENCE		R134a LBP/MBP/HBP RECIPROCATING															
Nbr of fans	Test conditions	Unit	Version				Electrical code	Compressor	Amb. temp. °C	Capacity range in [W] at evaporating temperature [°C]						Power consumption [W]	Application range [°C]
			A00	A01	A04	A05				-30°C	-20°C	-10°C	0°C	+5°C	+10°C		
CECOMAF	CECOMAF	OP-UCGC003	114X0104	114X0105	114X0107	114X0106	G	TL3GX	32°C	52	91	147	220	263	309	93	-30°C till +15°C
		OP-UCGC004	114X0108	114X0109	114X0111	114X0110	G	TL4GX	32°C	67	115	182	269	320	377	110	-30°C till +7.2°C
		OP-UCGC005	114X0112	114X0113	114X0115	114X0114	G	TL5GX	32°C	83	139	217	317	374	436	123	-30°C till +0°C
		OP-UCGC006	114X0200	114X0201	114X0203	114X0202	G	FR6GX	32°C	106	185	294	437	522	617	145	-30°C till +10°C
		OP-MCGC006	114X0228	114X0229	114X0231	114X0230	A	NL6.1MF	32°C		192	306	453	537	628	142	-20°C till +10°C
		OP-MCGC007	114X0244	114X0245	114X0247	114X0246	A	NL7.3MF	32°C		237	372	541	638	742	173	-20°C till +5°C
		OP-UCGC007	114X0216	114X0217	114X0219	114X0218	G	FR7.5GX	32°C	114	201	321	478	571	674	159	-30°C till +10°C
		OP-UCGC008	114X0224	114X0225	114X0227	114X0226	G	FR8.5GX	32°C	141	240	376	550	652	762	181	-30°C till +5°C
		OP-MCGC008	114X0352	114X0353	114X0355	114X0354	A	NL8.4MF	32°C		283	446	657	780	915	198	-20°C till +15°C
		OP-MCGC010	114X0360	114X0361	114X0363	114X0362	A	NL10MF	32°C		347	536	780	922	1076	243	-20°C till +7.25°C
		OP-UCGC010	114X0232	114X0233	114X0235	114X0234	G	FR10GX	32°C	149	254	396	580	688	805	207	-30°C till +5°C
		OP-UCGC011	114X0336	114X0336	114X0339	114X0338	G	FR11GX	32°C	168	327	510	737	875		236	-30°C till +5°C
OP-MCGC011	114X0376	114X0377	114X0379	114X0378	G	NL11MF	32°C		378	582	842	992	1154	265	-20°C till +5°C		
OP-UCGC012	114X0340	114X0341	114X0343	114X0342	G	SC12GX	32°C	202	381	610	880	1029	1185	261	-35°C till +0°C		

Fuente. Danfoss

Esta unidad tiene una capacidad de refrigeración de 582W, a una temperatura de evaporación de -10°C, una temperatura ambiente de 32°C y tiene un compresor de la misma marca Danfoss con referencia NL11MF el cual cumple con los requerimientos de capacidad ya que tiene una capacidad de 582W.

Tabla 16. Catálogo de compresores Danfoss

Hermetic compressors R134a

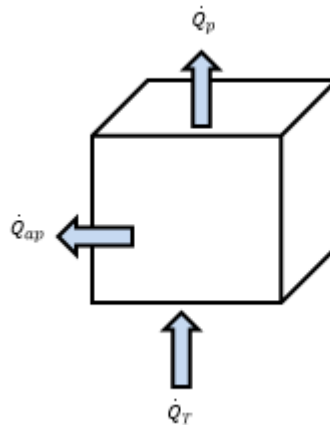
Application	Code numbers				Capacity [W] conditions as listed													Power consumption [W]																
	Compressor	Compressor on pallet	Compressor single pack with HST equipment	Compressor with oil cooling	Evaporating temperature [C°]													Evaporating temperature [C°]																
					-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	-35	-25	-10	5												
HSP	NL6.1MF	105G6660	19580411								141	189	245	312	390	482	588	709														187	243	
	NL7.3MF	105G6772	19580370								179	236	304	385	480	591	719	867													227	298		
	NL8.4MF	105G6879	19580371								213	277	353	445	553	679	825	994													261	349		
	NL10MF	105G6885	19580276	105G6887							266	346	441	554	687	843	1023	1231													323	435		
	NL11MF	105G6151	19580432								292	380	485	609	756	927	1125	1354													360	495		
	NLE10MF	105G6888	19580566																															
	SC18MFX	104G8804	on request				88	137	194			262	343	440	554	688	845																	
	SC21MFX	104G8120	19580478									430	563	722	912	1137	1400																	
	GS26MFX	10780700	19580433									530	682	866	1085	1343	1645	1996																
	GS34MFX	10780701	19580435									754	989	1266	1591	1970	2411																	
HSP	TL4GH	102G4455	19580122								104	140	182	230	287	353	429																	
	FR7GH	103G6683	19580167	103G6692							199	255	327	417	525	655	807																	
	SC10GH	104G8041	19580142								233	352	478	613	762	927	1113	1323																
	SC10GHH		on request	104G8071							259	352	467	604	762	942	1144																	
	SC12GH	104G8261	19580249								429	577	752	957	1196	1471	1787																	
	SC15GH	104G8561	19580144									559	723	915	1139	1398	1698	2041																
	SC15GHH		19580055	104G8571							435	570	726	911	1135	1405	1731																	
	SC18GH	104G8860	19580246									539	676	855	1077	1340	1645	1990																
	SC18GH	104G8861	19580266									485	639	825	1047	1310	1618	1976	2389															
	GS26GHX	10780702	19580434									937	1198	1510	1880	2316	2826	3417	4098															

Fuente: Danfoss

Subsistema de calefacción

De forma similar que en el proceso de refrigeración, en la siguiente figura se muestran las cargas para el proceso de calefacción del ambiente dentro de la cámara climática.

Figura 16. Cargas sistema de Calefacción. Fuente: Autores



$\dot{Q}_p =$ Calor perdido por las paredes y la puerta de acrílico

$\dot{Q}_{ap} =$ Calor perdido por la apertura de puertas.

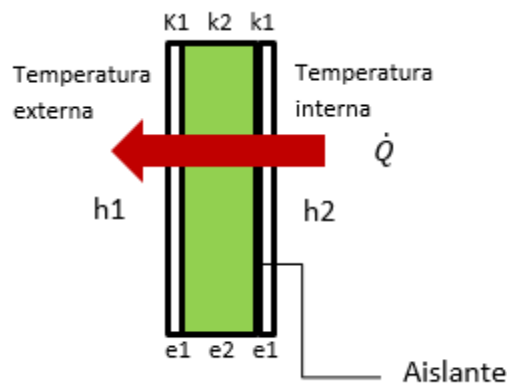
$\dot{Q}_a =$ Calor para elevar la temperatura hasta 70°C

$$\dot{Q}_T = \dot{Q}_p + \dot{Q}_{pa} + \dot{Q}_{ap} + \dot{Q}_a$$

2.3.2.3 Cálculo de la carga por calefacción.

CALOR PÉRDIDO POR LAS PAREDES

Figura 17. Transferencia de calor por las paredes. Fuente: Autores.



$$\dot{Q}_p = U * A_p * \Delta T \quad (13)$$

Tenemos que U es el coeficiente global de transferencia de calor por las paredes en el caso de la calefacción.

A_p es el área de transferencia de calor por las paredes.

Y el ΔT en el caso de la calefacción es entre la temperatura máxima de la cámara es decir 70 ° Celsius y la temperatura ambiente. Para el caso de la calefacción los coeficientes de convección varían, vamos a suponer que debido al aislamiento que

tiene la cámara la superficie interior está a 70°C y la temperatura exterior está a temperatura ambiente.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{2e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_e}} \quad (14)$$

- $\frac{e_1}{k_1}$ es la resistencia térmica superficial de la lámina de acero.
- $\frac{e_2}{k_2}$ es la resistencia termina superficial de la espuma de poliuretano.
- h_1 y h_2 ahora son calculados por medio de las ecuaciones conocidas para convección natural

$$Nu = \frac{h * L_c}{k}$$

$$Ra_{al} = Gr_{rl} * Pr = \frac{g * \beta * (T_s - T_\infty) * L_c^3}{\nu^2} * Pr \quad (15)$$

Dependiendo del valor obtenido de Ra_{al} se tiene otra correlación para el numero Nuselt la cual es la siguiente.

$$Nu = 0,59 * Ra_{al}^{1/4}$$

Los valores de g , k , ν , Pr salen de las tabas de propiedades del aire.

Entonces tenemos que:

$$h_i = 2,06 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_e = 2,44 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tabla 17. Calor pérdido por paredes.

Calor Perdido por las paredes	
Prototipo	Cámara climatizada
39.02 [W]	48,04 [W]

Fuente: Autores

Calor perdido por el acrílico

$$\dot{Q}_p = U * A_a * \Delta T \quad (16)$$

A_a es el área de la puerta de acrílico

$$\Delta T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_2}} \quad (17)$$

- e_3 es el espesor del acrílico = 0,006 m.
- k_3 conductividad térmica del acrílico.

Tabla 18. Propiedades térmicas del acrílico. Fuente: Autores

propiedades térmicas del acrílico	norma	unidad	colada	extrusión
conductividad térmica	DIN 52612	W/mK	0,19	0,19

$$h_i = 2,06 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_e = 2,44 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Tabla 19. Carga pérdida por la puerta de acrílico. Fuente: Autores

Calor perdido por el acrílico	
Prototipo	Cámara climatizada
4,252 [W]	24,80 [W]

Calor perdido por la apertura de puertas.

El cálculo para conocer la carga por apertura de puertas se realizó con la misma metodología de la carga para enfriamiento, hicimos pruebas calentando el aire al interior de la cámara hasta 61°C, se procedió a apagar la resistencias y se abrió la puerta para registrar el tiempo de recuperación, solo se tiene en cuenta los primeros 15 segundos, ya que es el tiempo promedio de apertura de puertas. El

tiempo de recuperación total fue de casi 2 minutos, en los 18 segundos la temperatura cayo 22°C.

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (18)$$

$$\dot{m} = 0,343 \text{ kg}/18s$$

$$C_p = 1005 \frac{J}{kg * ^\circ C}$$

$$\Delta T = 25^\circ C$$

Tabla 20. Carga perdida por apertura de puertas. Fuente: Autores

calor perdido por apertura de puertas	
prototipo	cámara climatizada
421.23 [W]	421,23 [W]

Tabla 21. Carga total de calefacción. Fuente: Autores

	prototipo	cámara climatizada
calor perdido por las paredes	39,02 [W]	48,04 [W]
calor perdido por el acrílico	4,252 W]	24,8 [W]
calor perdido por apertura de puertas	421,23 [W]	421,23 [W]
CARGA TOTAL	464.5[W]	494,07 [W]

2.3.2.3 Selección subsistema de calefacción. La calefacción comúnmente usada en sistemas de aire acondicionado es la calefacción por resistencia eléctrica, para lo cual se selecciona una resistencia que satisfaga la carga total de calefacción.

La resistencia que se ha seleccionado para la cámara climática es de 500W que satisface el requerimiento de carga de calefacción.

Las especificaciones de la resistencia escogida son las siguientes.

Figura 18. Especificaciones resistencias.

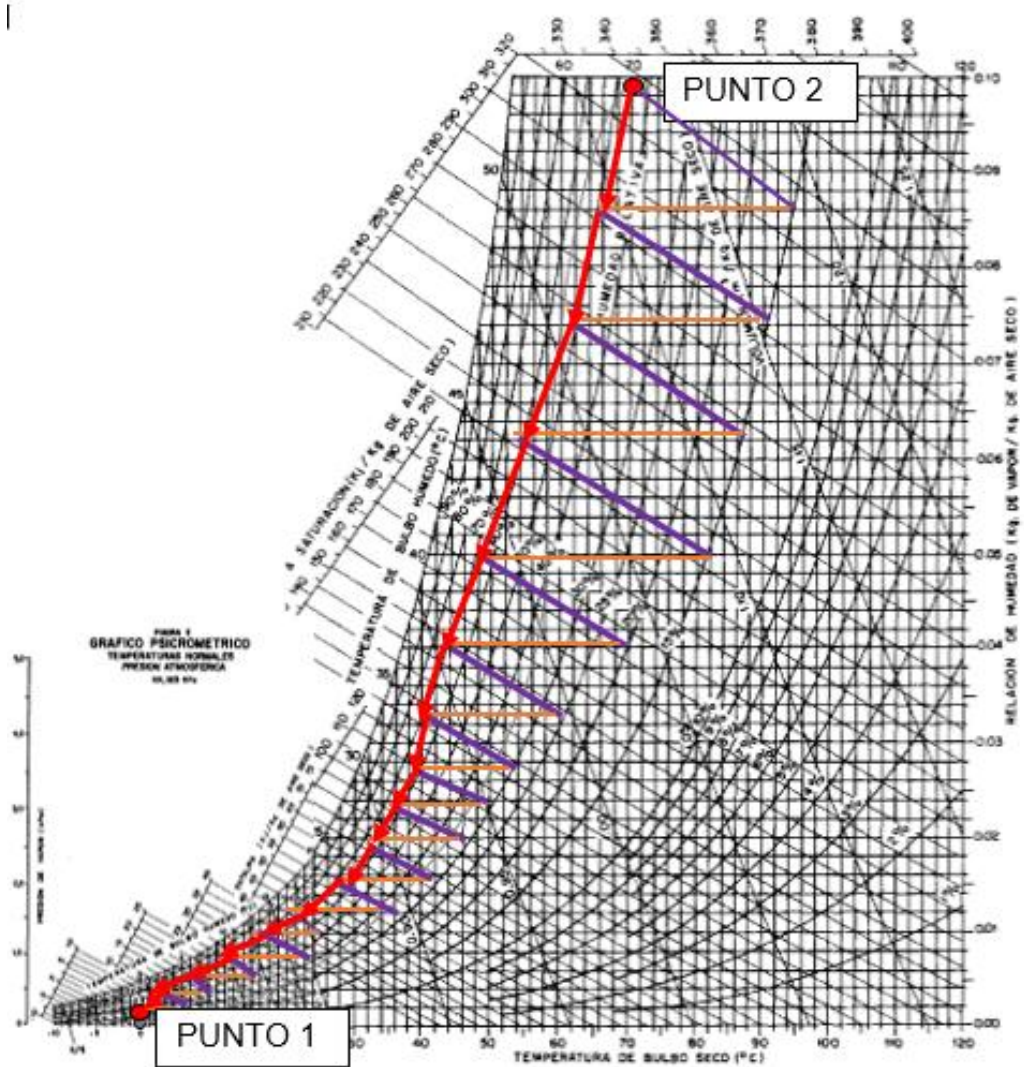
Watts	500 W
Voltage	120 VAC
Weight	0.4 lb 0.2 kg
Application	Air Heating Caustic Solutions
Watt Density	23 W/in ² 3.6 W/cm ²
Diameter	0.315 in 8 mm
Surface Area Per Linear	0.990 in ² 6.38 cm ²
Material	Incoloy®
Max. Operating Temperature	1600 °F 870 °C
Shipping Method	RAPID SHIP
Diameter Tolerance	± 0.005 in ± 0.13 mm
Min. No-Heat Length	1.25 in 32 mm
Max. Voltage	480 VAC
Max. Amperage	30 A
Min. Resistance Per Heated Inch	0.050 Ω
Max. Resistance Per Heated Inch	25 Ω

Fuente:http://www.watlow.com.mx/products/heaters/ht_tubular.cfm

2.3.4 Subsistema de humidificación

2.3.4.1 Cálculo de la carga de humidificación. Esta carga se estima, calculando la masa de vapor de agua en las condiciones extremas, es decir en el punto de más baja temperatura y menor humedad relativa hasta el punto más caliente y húmedo.

Figura 19. Comportamiento de la humidificación.



- Humidificación adiabática (Humidificador ultrasónico)
- Calentamiento (Sistema calefacción)

Fuente: Autores

En este proceso el humidificador usado es un humidificador adiabático, esto hace que al aumentar la humedad la temperatura del aire disminuya, es por esto que es necesario hacer uso del sistema de calefacción, este proceso dentro del sistema de hace en conjunto dándose primero la calefacción partiendo desde el punto 1

para luego humidificar y llegar por etapas hasta el punto 2 el cual es el punto más húmedo y cálido.

En la figura 17 se muestran los dos procesos por separado para explicar de manera detallada el funcionamiento de los dos sistemas.

$$\text{Punto 1. } T = 0 \text{ } ^\circ\text{C}, \%HR = 10 \%, V = 0,343 \text{ m}^3 = 343\text{l}$$

$$\text{Punto 2 } T = 70 \text{ } ^\circ\text{C}, \%HR = 80 \%, V = 0,343 \text{ m}^3 = 343\text{l}$$

Como datos tenemos el volumen de la cámara y la temperatura y humedad de los dos puntos

$$v = 0,343$$

Cálculo de la Humedad absoluta en el punto 1

$$T_1 = 0$$

$$rh_1 = 0,1$$

$$P_1 = P_{\text{sat}} (\text{Steam}; T = T_1)$$

$$P_{a1} = 101,3 + P_1$$

$$\omega_1 = \omega (\text{AIRH2O}; T = T_1; R = rh_1; P = P_{a1})$$

Cálculo de la Humedad absoluta en el punto 2

$$T_2 = 70$$

$$rh_2 = 0,8$$

$$P_2 = P_{\text{sat}} (\text{Steam}; T = T_2)$$

$$P_{a2} = 101,3 + P_2$$

$$\omega_2 = \omega (\text{AIRH2O}; T = T_2; R = rh_2; P = P_{a2})$$

Cálculo de la masa de vapor presente en el punto 1

$$\rho_1 = \rho (\text{AIRH2O}; T = T_1; R = rh_1; P = P_{a1})$$

$$m_{v1} = \omega_1 \cdot v \cdot \rho_1$$

Cálculo de la masa de vapor presente en el punto 2

$$\rho_2 = \rho (\text{AIRH2O}; T = T_2; R = rh_2; P = P_{a2})$$

$$m_{v2} = \omega_2 \cdot v \cdot \rho_2$$

masa de vapor a extraer de la cámara

$$m_{v2} - m_{v1} = m_{\text{vextraer}}$$

$$\omega_1 = 0,0003733 \text{ [kg/kg]}$$

$$\omega_2 = 0,1444 \text{ [kg/kg]}$$

$$P_1 = 0,6113 \text{ [kPa]}$$

$$P_2 = 31,18 \text{ [kPa]}$$

$$\rho_2 = 1,281 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$rh_1 = 0,1$$

$$rh_2 = 0,8$$

$$T_1 = 0 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$m_{v1} = 0,0001664 \text{ [kg]}$$

$$m_{v2} = 0,06343 \text{ [kg]}$$

$$m_{\text{vextraer}} = 0,06326 \text{ [kg]}$$

$$P_{a1} = 101,9 \text{ [kPa]}$$

$$P_{a2} = 132,5 \text{ [kPa]}$$

$$\rho_1 = 1,3 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$T_2 = 70 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

$$v = 0,343 \text{ [m}^3\text{]}$$

2.3.4.2 Selección del sistema de humidificación. Para la humidificación de la cámara, seleccionamos un humidificador por ultrasonido, debido a, su fácil operación, su bajo costo de mantenimiento, y la facilidad de ser controlado.

Debido a que el funcionamiento de este humidificador no se basa en la creación de vapor de agua, aumentando la temperatura, hace que al humidificar el ambiente, las condiciones de temperatura no se vean seriamente alteradas.

Se seleccionó un humidificador de aire ultrasónico Mist Maker, membrana 20mm(DK-24), con las siguientes especificaciones.

Figura 20. Humidificador Ultrasónico



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

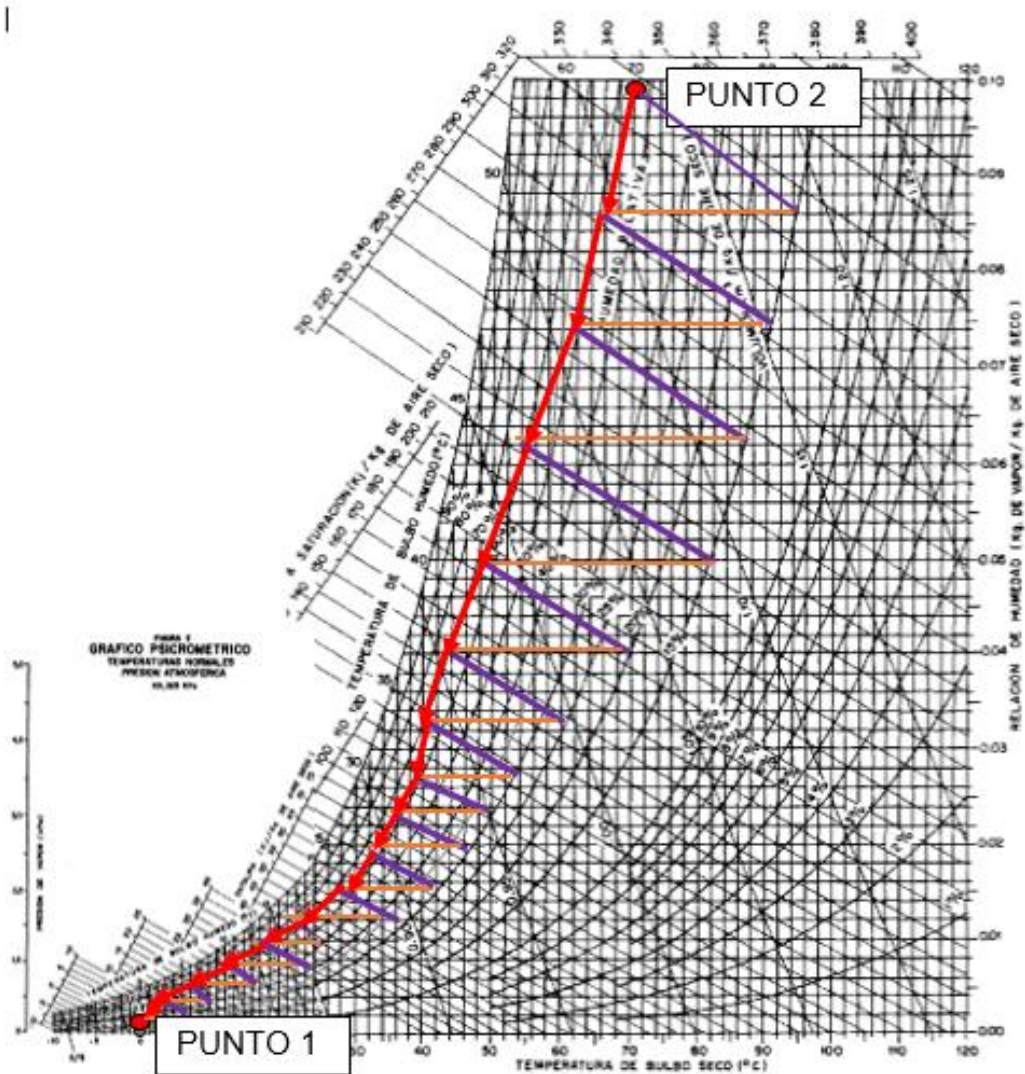
Intensidad de salida: 1.0A

Fuente: <http://www.servovendi.com/es/humidificador-de-aire-ultrasonico-mist-maker-1x-membrana-20mm-dk-24.html>

2.3.5 Subsistema de deshumidificación

2.3.5.1 Cálculo de la carga de deshumidificación Para la des-humidificación teóricamente pasaremos del punto más húmedo y cálido dentro de la cámara para llevarla al punto más seco y frío.

Figura 21. Carta psicrométrica baja temperatura.



- Des-humidificación adiabática (Sílica gel)
- Enfriamiento (Sistema Refrigeración)

Fuente. Autores

La deshumidificación se da en 2 procesos, un deshumedecimiento adiabático, hecho por la rueda desecante, el cual solo puede alcanzar ciertos porcentajes de humedad teniendo un comportamiento como el que se muestra en la figura 19 por la línea color morado este proceso eleva la temperatura y por esto requiere del enfriamiento realizado por el subsistema de refrigeración, a medida que la

temperatura disminuye se hace más importante el uso del sistema de refrigeración para alcanzar una humedad determinada.

Punto 1. $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\%HR = 10\%$, $V = 0,343\text{ m}^3 = 343\text{ l}$

Punto 2 $T = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\%HR = 80\%$, $V = 0,343\text{ m}^3 = 343\text{ l}$

Como datos tenemos el volumen de la cámara y la temperatura y humedad de los dos puntos:

$$v = 0,343$$

Cálculo de la Humedad absoluta en el punto 1

$$T_1 = 0$$

$$rh_1 = 0,1$$

$$P_1 = P_{\text{sat}} (\text{Steam}; T = T_1)$$

$$P_{a1} = 101,3 + P_1$$

$$\omega_1 = \omega (\text{AIRH}_2\text{O}; T = T_1; R = rh_1; P = P_{a1})$$

Cálculo de la Humedad absoluta en el punto 2

$$T_2 = 70$$

$$rh_2 = 0,8$$

$$P_2 = P_{\text{sat}} (\text{Steam}; T = T_2)$$

$$P_{a2} = 101,3 + P_2$$

$$\omega_2 = \omega (\text{AIRH}_2\text{O}; T = T_2; R = rh_2; P = P_{a2})$$

Cálculo de la masa de vapor presente en el punto 1

$$\rho_1 = \rho (\text{AIRH}_2\text{O}; T = T_1; R = rh_1; P = P_{a1})$$

$$m_{v1} = \omega_1 \cdot v \cdot \rho_1$$

Cálculo de la masa de vapor presente en el punto 2

$$\rho_2 = \rho (\text{AIRH}_2\text{O}; T = T_2; R = rh_2; P = P_{a2})$$

$$m_{v2} = \omega_2 \cdot v \cdot \rho_2$$

masa de vapor a extraer de la cámara

$$m_{v2} - m_{v1} = m_{\text{vextraer}}$$

$$\omega_1 = 0,0003733 \text{ [kg/kg]}$$

$$\omega_2 = 0,1444 \text{ [kg/kg]}$$

$$P_1 = 0,6113 \text{ [kPa]}$$

$$P_2 = 31,18 \text{ [kPa]}$$

$$\rho_2 = 1,281 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$rh_1 = 0,1$$

$$rh_2 = 0,8$$

$$T_1 = 0 \text{ [C]}$$

$$m_{v1} = 0,0001664 \text{ [kg]}$$

$$m_{v2} = 0,06343 \text{ [kg]}$$

$$m_{\text{vextraer}} = 0,06326 \text{ [kg]}$$

$$P_{a1} = 101,9 \text{ [kPa]}$$

$$P_{a2} = 132,5 \text{ [kPa]}$$

$$\rho_1 = 1,3 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$T_2 = 70 \text{ [C]}$$

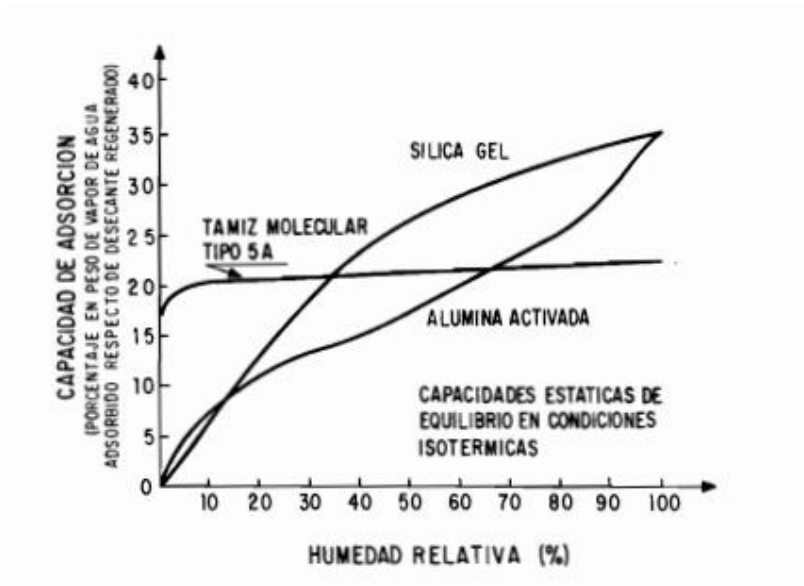
$$v = 0,343 \text{ [m}^3\text{]}$$

Cantidad de sílica gel necesaria.

$$m_d = \frac{m_v * 100}{\% Ca} \quad (19)$$

La capacidad de absorción se toma de la isoterma para la sílica gel, a la Humedad relativa, requerida dentro de la cámara.

Figura 22. Isoterma de adsorción sílica gel.



Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-62302014000200016

$$m_d = \frac{53,72 * 100}{5}$$

$$m_d = 1074,4 \text{ gramos}$$

Volumen de la rueda desecante, para contener la sílica

Volumen Rueda Desecante

$$\rho_{\text{silica}} = \frac{m_d}{v}$$

$$\rho_{\text{silica}} = 0,737 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$m_d = 1074,4 \text{ [g]}$$

$$v = 1458 \text{ [cm}^3\text{]}$$

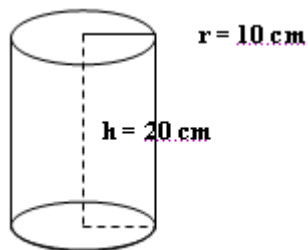
Dimensiones.

$$v = \pi * r^2 * h \quad (20)$$

$$r = 10 \text{ cm}$$

$$h = 20 \text{ cm}$$

Fig. 25 Esquema rueda desecante Fuente: Autores



$$v = \pi * r^2 * h$$

$$v = \pi * 10^2 * 20$$

$$v = 6283 \text{ cm}^3$$

2.3.5.2 Selección del sistema de deshumidificación. Elegimos usar una rueda desecante, para el proceso de deshumidificación. Al no contar con disponibilidad de ruedas del tamaño requerido, se optó por construir una rueda desecante, que cumpliera con los requisitos del sistema.

Las dimensiones de esta rueda son seleccionadas basadas en el volumen de sílica necesario para disminuir la humedad dentro de la cámara, se necesita un volumen de 1458 cm^3 para contener los 1.074 kg de sílica necesarios calculados en el punto 2.3.5.1, se presentan las dimensiones en la sección anterior y se muestra un plano detallado de construcción en los anexos.

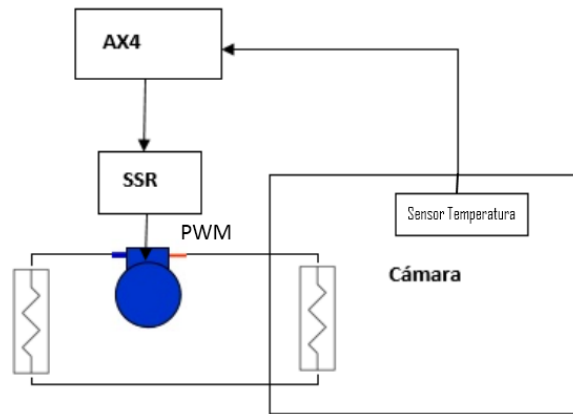
La elección de la sílica gel, se basó en su alta capacidad de deshumidificación, por su bajo costo y la gran disponibilidad en el mercado local.

2.3.6 Subsistema de control 2.3.6.1 Control del subsistema de refrigeración. Se utilizó un controlador AX4 de la marca Hanyoung. Este es un controlador digital de temperatura, configurable para control PID y ON/OFF, con un tipo de salida de pulso. Es un controlador de auto sintonía, con setpoint variable.

Para controlar temperaturas dentro de la cámara, se controlará la capacidad del compresor ubicado en la parte exterior de la cámara, la salida de control se da enviando pulsos a un SSR (Relé de estado sólido), el pulso enviado es de tipo CYC (Control proporcional de tiempo compartido), es una forma de control dentro de la modulación por pulsos, que permite una retroalimentación del controlador para que use el actuador, como si este fuera capaz de generar esfuerzos entre el 0 o 100% de su capacidad, de esta forma de esta forma el compresor funcionará dependiendo de la diferencia entre la temperatura medida y el setpoint definido.

La temperatura será medida usando una termocupla Tipo J, por ser la que mejor se acomoda a los rangos de temperatura dentro de la cámara.

Figura 23. Esquema general del sistema de control Refrigeración.

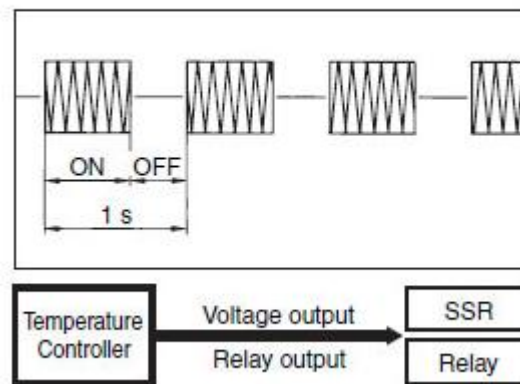


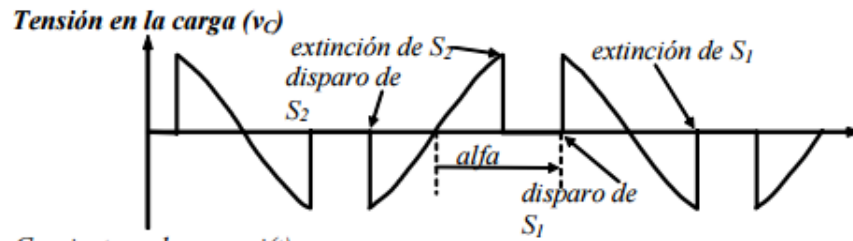
Fuente: Autores

El control de los pulsos enviados al relé es de tipo CYC, en un compresor monofásico, además de la tensión de alimentación se debe controlar la frecuencia de la misma, a una frecuencia menor circula mayor corriente, lo que podría generar daños en el compresor, o en caso contrario el no funcionamiento del mismo. Se muestra a continuación una gráfica de la salida del control.

Figura 24. Salida control proporcional de tiempo compartido.

ON/OFF Time-sharing Proportional Control





Fuente: Autores

En la siguiente grafica se muestra las especificaciones técnicas del controlador AX4.

Figura 25. Especificaciones control AX4

Alimentación	(*) 100-240VCA 50/60Hz, 24VCA 50/60Hz / 24-48VCC	
Rango permitido de voltaje	90~110% de la alimentación	
Consumo	Aprox. 5VA	Aprox. 6VA(bajo voltaje \neq CA:Aprox. 8VA, CC:Aprox. 7W)
Display	Display LED de 7 segmentos [valor del proceso (PV): en rojo, valor de ajuste (SV) en verde]	

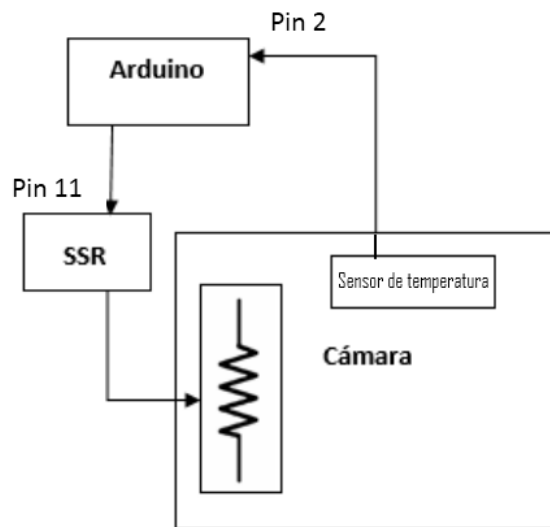
Fuente: Hanyoung AX Series Manual.

Entrada	Termopar	K(CA), J(IC), R(PR), E(CR), T(CC), S(PR), N(NN), W(TT) <tolerancia en la resistencia de línea máx. 100Ω por conductor>	
	RTD	Pt 100Ω, JIS Pt100Ω3 conductores, tolerancia en la resistencia de línea máx. 5Ω, por conductor	
	Analógica	1-5VCC, 0-10VCC, 4-20mACC	
Salida de control	Relevador	250VCA 3A 1c	
	SSR	12VCC±3V 30mA max.	
	Corriente	4-20mACC carga 600Ω Max.	
Salida auxiliar	Transmisión	-	Transmisión PV: 4-20mACC carga max. 600Ω
	EVENTO 1	250VCA 1A 1a	
	EVENTO 2	-	250VCA 1A 1a
	Comunicación	-	-
Tipo de control	Control ON/OFF, P, PI, PD, PIDF, PIDS		
Precisión de display	F.S ± 0.3% o 3°C(superior)		
Tipo de ajuste	Por medio de botones al frente		
Histéresis	Ajustable 1~100°C(0.1~100.0°C) en control ON/OFF		
Histéresis de salida de alarma	Ajustable 1~100°C(0.1~100.0°C) en control ON/OFF		
Banda proporcional (P)	0.0 - 100.0%		
Tiempo integral (I)	0 - 3600 seg.		
Tiempo derivativo (D)	0 - 3600 seg.		
Tiempo de control (T)	1 - 120 seg.		
Periodo de muestreo	0.5 seg.		
Ajuste LBA	1 - 999 seg.		
Ajuste RAMPA	Rampa ascendente, rampa descendente a 1~99min.		

Rigidez dieléctrica	2000V/CA 50/60Hz por 1 min.	
Vibración	Amplitud de 0.75mm a frecuencia 10 ~ 55Hz en cada dirección X, Y, Z por 2 horas	
Vida del relevado	Salida principal	Mecánica: min. 10,000,000 veces, Eléctrica : min. 100,000 veces (250V/CA 3A carga resistiva)
	Salida aux.	Mecánica: min. 20,000,000 veces, Eléctrica: min. 300,000 veces (250V/CA 1A carga resistiva)
Resist. de aislamiento	Min. 100MΩ (a 500V/CC mega)	
Ruido	Onda cuadrada de ruido generada por simulador de ruido (ancho de pulso μs)±2kV	
Protección de memoria	Aprox. 10 años (cuando se usa una memoria semiconductora no volátil)	
Temperatura ambiente	-10 ~ 50°C(en condición de no congelamiento)	
Temp. de almacenaje	-20 ~ 60 °C(en condición de no congelamiento)	

2.3.6.2 Control del subsistema de calefacción. El control de este subsistema, es un control con salida PWM, desde una tarjeta de arduino, hacia un relé de estado sólido SSR.

Figura 26. Esquema general del sistema de control de calefacción



Fuente: Autores

Si la resistencia eléctrica utilizada para calentar el aire dentro de la cámara, funcionaba siempre a su máximo voltaje en un control tipo ON/OFF simple, nuestra temperatura empezaría a fluctuar alrededor del setpoint definido, por esto se parametrizó el voltaje de salida, dependiendo de la humedad de la cámara para alcanzar la temperatura deseada.

Se realizaron pruebas, para observar la máxima temperatura alcanzada, con 120v y a diferentes grados de temperatura. Luego se estos datos se parametrizaron, dando como resultado el voltaje de salida, como una función de la temperatura y la humedad de la cámara climática.

Con esta función se realizó el código de arduino, para cambiar el voltaje que saldrá hacia el relé, cambiando el ciclo de trabajo de la señal.

2.3.6.3 Control del subsistema de humidificación. El control de este subsistema es un control ON/OFF simple, dado que la carga de vapor, que entrega el humidificador no es muy grande, además de la baja rata de cambio de la humedad, se hace factible usar este tipo de control en este subsistema. Un relé activará o desactivará el circuito que energiza el humidificador, la humedad será medida con un sensor DHT11, este es un sensor de tipo digital, que se acopla muy fácilmente a la tarjeta Arduino.

Figura 27. Esquema general del sistema de control de humidificación.

Fuente. Autores

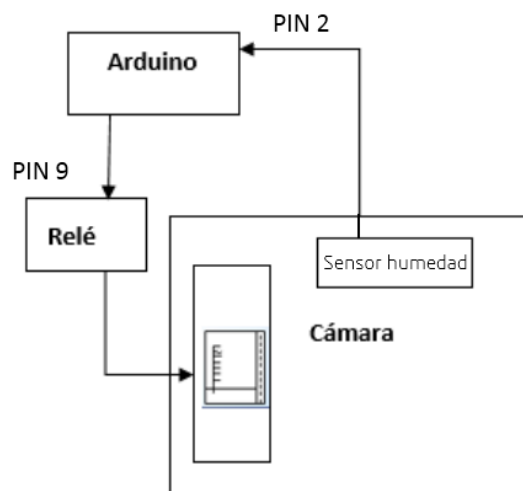


Figura 28. Especificaciones Sensor DHT11.

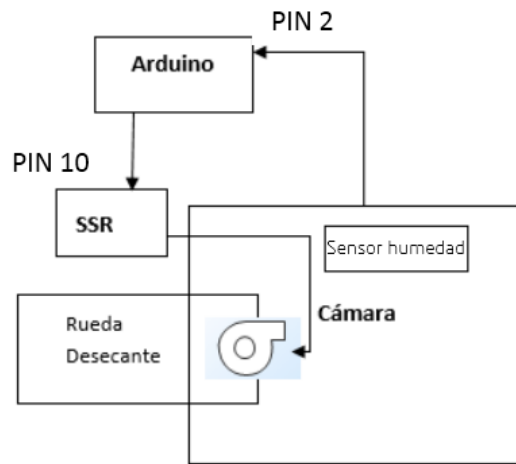
Detailed Specifications:

Parameters	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25°C		± 4%RH	
	0-50°C			± 5%RH
Interchangeability	Fully Interchangeable			
Measurement Range	0°C	30%RH		90%RH
	25°C	20%RH		90%RH
	50°C	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%)25°C, 1m/s Air	6 S	10 S	15 S
Hysteresis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	

Fuente: DHT11 Humidity & Temperature Sensor DRobotics.

2.3.6.4 Control del subsistema de des humidificación. En este sistema, controlamos las rpm del motor de un ventilador, que impulsa el aire, hacia la rueda desecante, y luego hacia la cámara después de haber sido retirada la humedad en éste. Para ello utilizamos un relé de estado sólido (SSR) que suministra voltaje al motor, mediante un control PWM a la señal que va hacia el SSR, se controlará el voltaje que se le suministra al motor del ventilador y con ello la cantidad de aire seco que entra de nuevo a la cámara .

Figura 29. Esquema general del subsistema de control de deshumidificación



Fuente. Autores

3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN MONTAJE Y OPERACIÓN DEL PROTOTIPO

3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTUCTURA

Las paredes de la cámara climática se construye con láminas de acero inoxidable referencia 430, las cuales son medidas y cortadas para posteriormente ser dobladas.

Figura 30. Lámina constructiva. Fuente: Autores



Las láminas son dobladas y preparadas para ser inyectado el poliuretano, se ubica una lámina sobre otra en un banco simultáneamente se mezclan los dos componentes del poliuretano y se vierte el contenido quedando en medio de las dos laminas, los dos componentes reaccionan y se crea la espuma de poliuretano de 2" de espesor y alta densidad de 38 kg/m³.

Figura 31. Panel tipo sándwich poliuretano. Fuente: Autores



Posteriormente se realiza el montaje las 5 caras de la cámara

Figura 32. Construcción estructura del prototipo. Fuente: Autores



3.2 MONTAJE DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN Y CALEFACCIÓN

Mediante el cálculo previo de la carga calórica se realizó la selección de cada uno de los componentes del sistema de refrigeración y calefacción.

Se comenzó haciendo el montaje del sistema de refrigeración iniciando por el evaporador ubicándolo dentro de la cámara y conectándolo a la unidad condensadora ubicada sobre la cámara para de esta manera completar el ciclo de refrigeración por compresión.

Figura 33. Evaporador Fuente: Autores



Figura 34. Unidad Condensadora. Fuente: Autores.



En esta imagen se puede apreciar la unidad condensadora compuesta por el compresor, condensador y elemento de expansión.

Figura 35. Componentes Unidad condensadora. Fuente: Autores



Para el sistema de calefacción se hace el montaje de la resistencia aprovechando la estructura del evaporador y usando el ventilador para aumentar la transferencia de calor por convección.

Figura 36. Instalación resistencias tubulares. Fuente: Autores



En esta imagen se ve el montaje completo del sistema de refrigeración y calefacción.

Figura 37. Subsistemas Refrigeración y calefacción. Fuente: Autores



3.3 MONTAJE DEL EQUIPO DE HUMIDIFICACIÓN Y DESHUMIDIFICACIÓN.

3.3.1 Sistema de Deshumidificación

Figura 38. Rueda desecante. Fuente: Autores



Se construyó la rueda desecante diseñada y especificada anteriormente, en su interior contiene silica gel lo que hará mediante su giro que el aire que será conducido por la cámara se deshumidifique.

3.3.2 Sistema de humidificación. Se instala en el interior de la cámara el humidificador por ultrasonido el cual requiere ser sumergido en un recipiente con agua y suministro de corriente eléctrica.

Figura 39. Humidificador Ultrasónico



Fuente: <http://www.servovendi.com/es/humidificador-de-aire-ultrasonico-mist-maker-1x-membrana-20mm-dk-24.html>

4. DISEÑO Y ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONOMICA DE LA CÁMARA CLIMÁTICA

En este capítulo se seleccionaran los componentes de la cámara climática y se documentara su estudio económico con respecto a una cámara climática comercial de similares especificaciones, en un anexo de proporcionaran los planos para la construcción de la cámara.

4.1 SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA CÁMARA CLIMÁTICA

La selección de los elementos de la cámara climática está basada en los cálculos realizados previamente y documentados en el capítulo 2, donde se diseñó cada subsistema para que se cumplieran los requerimientos de temperatura y humedad dentro de la cámara.

4.1.1 Subsistema mecánico

Este subsistema está constituido por:

- Estructura en lámina acero inoxidable AISI 410 de calibre 20 para las 5 paredes en su interior y exterior de la estructura.
- Aislante térmico de poliuretano inyectado de 5cm de espesor para las 5 paredes.
- Una puerta de acrílico de (0.785 x 0.65)m.

4.1.2 Subsistema de refrigeración. Dadas las similitudes entre el volumen de la cámara y el prototipo construido y las similitudes en las cargas térmicas calculadas anteriormente el subsistema seleccionado para el prototipo es el mismo usado para la cámara. Sistema de refrigeración por compresión de vapor.

- Unidad condensadora Embraco UC UFU 100HAK115.
 - Evaporador de baja silueta fabricante GELPHA MBS361B.

4.1.3 Subsistema de calefacción.. Resistencias eléctricas tubulares RBN291S, WATROD™ de la marca WATLOW.

4.1.4 Subsistema de humidificación. Humidificador de aire ultrasónico Mist Maker, membrana 20mm(DK-24).

4.1.5 Subsistema de deshumidificación. Se recomienda construir rueda desecante que contenga en su interior silica gel detallada en los planos de construcción.

4.1.6 Subsistema de control. Controlador de temperatura y humedad de la marca Full Gauge referencia MT530E.

4.2 ESTUDIO DE LA VIABILIDAD ECONÓMICA

Se realiza un estudio de viabilidad económica del proyecto basándonos en el costo de construcción del prototipo y los elementos seleccionados para la cámara climática, se realiza un cuadro detallado de los costos de dichos elementos y posteriormente se compara con el valor de una cámara climática comercial de iguales dimensiones.

Tabla 22. Costos de construcción. Fuente: Autores

ELEMENTO	VALOR
Subsistema mecanico	
lamina de acero inoxidable 5´x10´ (1,52x3,05)m	\$ 643.000
puliuretano (poliol e isosianato)	\$ 65.000
acrilico	\$ 55.000
tornillos y remaches	\$ 80.000
rodachines [7,5]cm de diametro	\$ 60.000
Subsistema de refrigeracion	
unidad condensadora	\$ 1.040.000
evaporador	\$ 1.020.000
Subsistema de calefaccion	
resistencias	\$ 140.000
Subsistema de humidificacion	
humidificador	\$ 80.000
Subsistema de deshumidifación	
rueda dessecante con construccion	\$ 350.000
silica gel	\$ 36.000
Subsistema de control	
controlador temperatura y humedad MT530E	\$ 530.000
cableado	\$ 60.000
Mano de obra	
mano de obra en general	\$ 900.000
TOTAL	\$ 5.059.000

El precio comercial de una cámara climática de dimensiones iguales fabricada por la empresa BINDER, una empresa alemana líder en este campo nos proporciona el precio de dicha cámara en euros de **€ 14.270**, en el momento de entrega de este estudio en precio colombiano sería de **\$ 48'518.000**

5. MANUAL DE USO Y MANTENIMIENTO

5.1 MANUAL DE MANTENIMIENTO.

5.1.1 Sistema de refrigeración y calefacción

- EVAPORADOR:

El mantenimiento de un evaporador depende de la temperatura de la cámara, el tipo de producto almacenado y del porcentaje en tiempo que la puerta está abierta, bajo condiciones normales se recomienda que el mantenimiento se haga una vez cada seis meses y debe cubrir los siguientes puntos:

- ✓ Revisar las conexiones eléctricas (cableado y aislamiento).
- ✓ Revise el nivel de refrigerante en el sistema.
- ✓ Limpiar la superficie del serpentín del evaporador.
- ✓ Mantenimiento al ventilador.

- UNIDAD CONDENSADORA

Para realizar un mantenimiento preventivo de una unidad condensadora es necesario tener en cuenta los siguientes puntos básicos.

- ✓ Hacer limpieza general (serpentín, unidad condensadora, motor compresor, aspas, componentes eléctricos, elemento de expansión).
- ✓ Aplicación de líquido desincrustante, desengrasante y anticorrosivo.
- ✓ Revisión y ajustes de controles.
- ✓ Revisión de condiciones de operación.
- ✓ Revisión de temperatura y presión.

- VENTILADOR DEL CONDENSADOR Y VENTILADOR DEL EVAPORADOR

Los ventiladores no necesitan mantenimiento, todos los rodamientos, ejes, etc. están lubricados durante la fabricación para la vida del motor.

- **PÉRDIDA DE REFRIGERANTE**

Para realizar el mantenimiento asegúrese que no haya fugas de refrigerante.

Si desea recargar el refrigerante asegúrese que el sistema ha sido debidamente evacuado en un vacío profundo.

- **RESISTENCIAS**

El mantenimiento de las resistencias es muy sencillo y se realiza únicamente revisando su punto de conexión a corriente y se deben hacer pruebas para verificar su buen funcionamiento.

5.1.2 Sistema de humidificación y deshumidificación

- **HUMIDIFICADOR**

El humidificador no requiere mantenimiento ya que viene sellado.

- **DESHUMIDIFICADOR**

El mantenimiento para el deshumidificador el cual es una rueda desecante con silica gel, se realiza de la siguiente manera:

- ✓ Revisar conexiones eléctricas.
- ✓ Hacer cambio periódico de la silica gel aproximadamente cada tres meses.

5.2 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El mantenimiento preventivo (MP) tiene como finalidad prever fallas en los equipo por la falta de limpieza o ajuste de los mismos, alargar la vida de los equipos y lograr un rendimiento eficiente de la máquina

Tabla 23. Programa mantenimiento preventivo. Fuente: Autores

Compresor

OPERACIÓN	PERIODICIDAD
Limpieza exterior del compresor	Anual
Inspección de ruidos y vibraciones	Anual

Condensador

OPERACION	PERIODICIDAD
Inspección del serpentín y limpieza	Anual
Inspección del ventilador y su motor eléctrico	Anual
Inspección de fuga	Anual
Inspección de pernos de anclaje, ajuste si es necesario	Anual

Evaporador

OPERACION	PERIODICIDAD
Inspección del serpentín y limpieza	Anual
Inspección de válvulas de expansión	Anual
Inspección de ventiladores en motores eléctricos	Anual
Inspección general, pruebas de fugas	Anual

Resistencia Eléctrica

OPERACION	PERIODICIDAD
Comprobación de funcionamiento	Anual
Inspección de conexión	Anual

Humidificador

Deshumidificador

OPRECION	PERIODICIDAD
Inspección de conexiones eléctricas.	Anual
Inspección de funcionamiento del ventilador	Anual
Inspección de desgaste de la silica	Semestral

5.3 MANUAL DE USO











El uso de esta cámara se limita a establecer los setpoints uno de temperatura y otro de humedad dentro de la cámara, del uso correcto de este sistema depende el buen funcionamiento de la misma.






- Ubicar la cámara climática en un lugar seco y cerca de instalaciones eléctricas.
- Encender la cámara y verificar que todos sus elementos estén en correcto funcionamiento.
- Especificar los setpoints de temperatura y humedad en el controlador MT530E de la siguiente manera:

Figura 40. Vista Controlador MT 530



Fuente: <http://www.fullgauge.com/es/productos-mt-530-super>

- ✓ Presione por 2 segundos ,  hasta que aparezca,  soltando enseguida. Aparecerá  y la temperatura ajustada.
- ✓ Utilice las teclas  y  para cambiar el valor y, cuando esté listo, presione .
- ✓ Aparecerá ahora  y la humedad ajustada.
- ✓ Utilice las teclas  y  para cambiar el valor y, cuando esté listo, presione .

- ✓ Entonces, si la salida AUX está configurada para control (F14 = 0, 1, 2 o 3) puede aparecer  o .
 - ✓ Caso aparezca algunas de estas indicaciones, configure el valor de la salida AUX con las teclas  y  y presione  para confirmar.
-
- Ubicar los instrumentos dentro de la cámara para iniciar su proceso de calibración.
 - Al finalizar apagar todos los sistemas y desconectar la cámara.

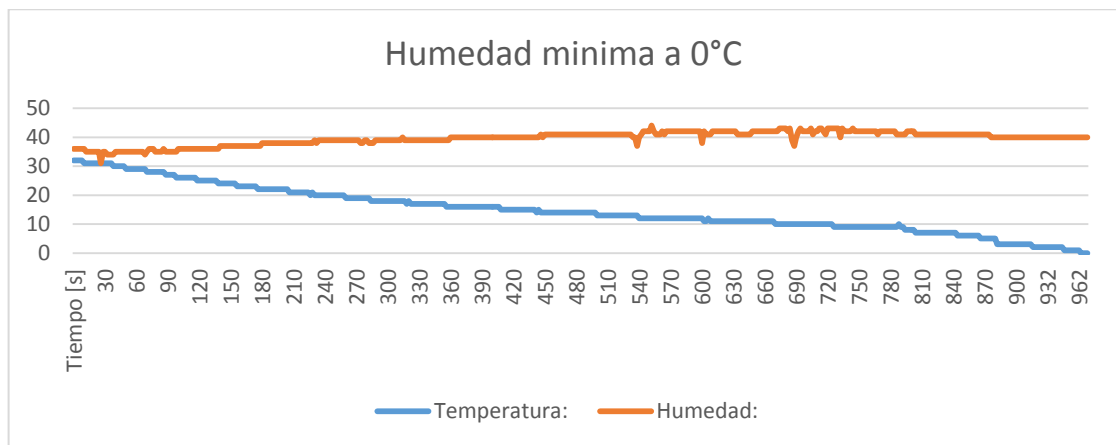
6. PRUEBAS

6.1 PRUEBAS DE MÍNIMA HUMEDAD A DIFERENTES TEMPERATURAS.

Dado que a menor temperatura se hace cada vez más difícil la deshumidificación del aire, se realizan pruebas para comprobar la mínima humedad alcanzada a diferentes temperaturas, obteniendo los siguientes resultados.

- Desde las condiciones ambientales en el momento de realizar las pruebas 37°C y 32 % HR, se disminuye la temperatura, hasta alcanzar 0°C (punto mínimo), paralelamente, la rueda desecante, irá extrayendo humedad del ambiente. Cabe recordar que cuando disminuye la temperatura, la humedad relativa se hace mayor, es por esto que aunque el sistema de deshumidificación estaba trabajando correctamente, se hace visible un pequeño aumento de la humedad.

Figura 41. Humedad mínima a 0°C

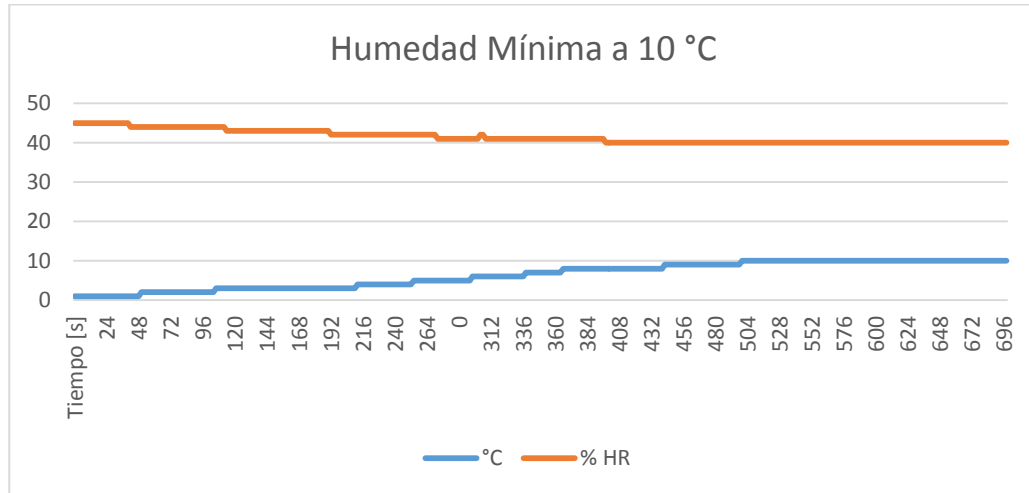


Fuente. Autores

- Llevando la cámara a una temperatura de 10°C partiendo de una temperatura de 0°C, se puede obtener una humedad mínima de 40% HR en un tiempo

aproximado de 12 minutos. Se puede observar que la temperatura y la humedad después de alcanzar los valores deseados se mantienen constantes.

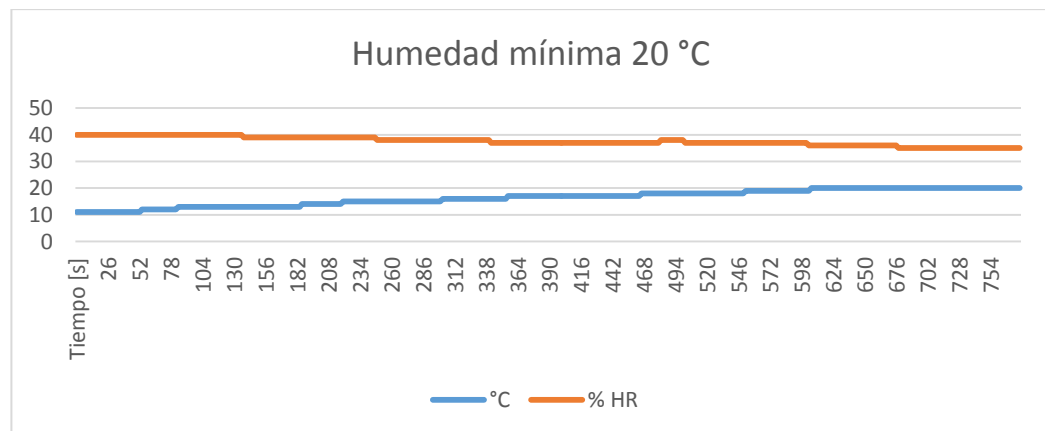
Figura 42. Mínima humedad a 10°C



Fuente. Autores

- Partiendo de una temperatura de 10°C para llevarla hasta 20°C la mínima humedad alcanzada en un rango de tiempo de 13 minutos es de 35%HR.

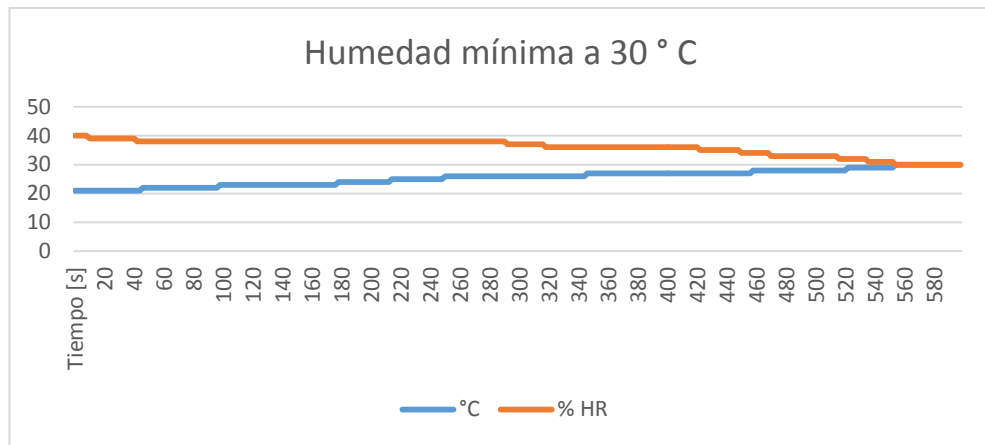
Figura 43. Humedad mínima a 20°C



Fuente. Autores

- En esta gráfica se puede observar que al aumentar 10°C la temperatura llegando a una temperatura de 30°C la humedad mínima posible de alcanzar en un rango de tiempo de respuesta de 10 minutos es de 30%HR.

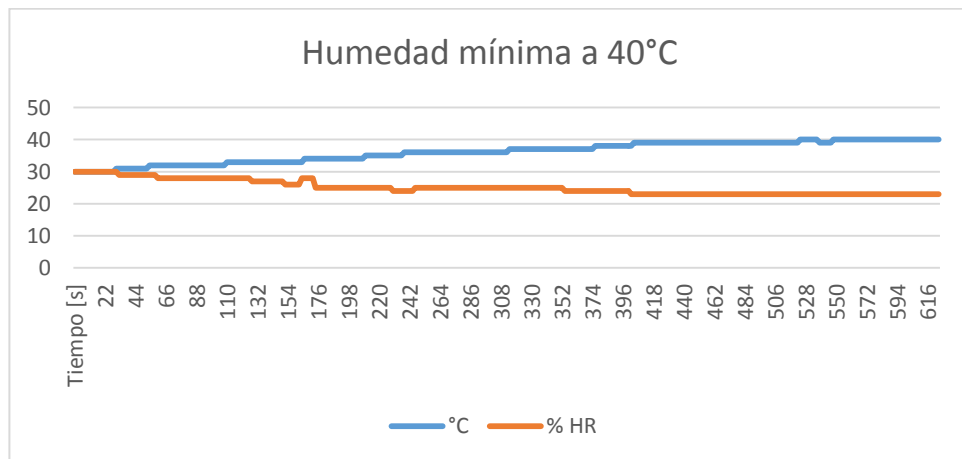
Figura 44. Humedad mínima a 30°C



Fuente. Autores

- En la siguiente gráfica se puede observar que teniendo un ambiente más cálido a una temperatura de 40°C, la humedad puede disminuir aún más y llegar a un valor de 23%HR.

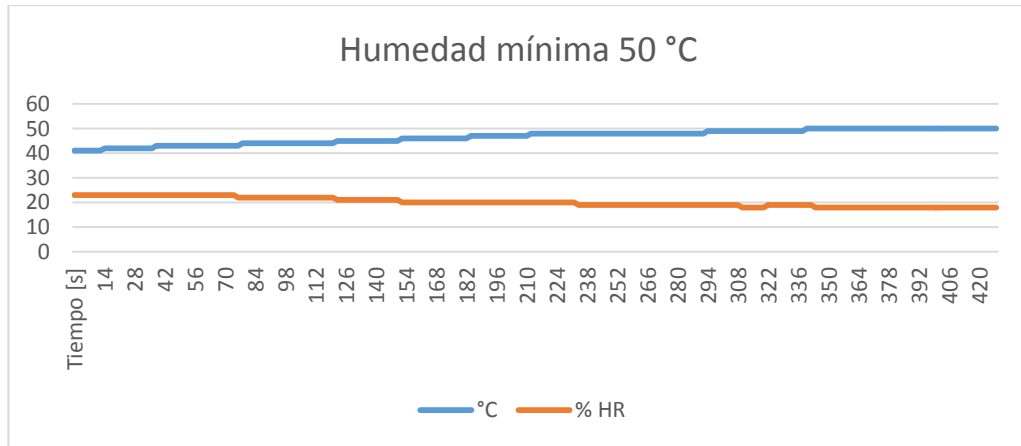
Figura 45. Humedad mínima a 40°C



Fuente. Autores

- En la siguiente figura se muestra que en un tiempo de 7 minutos se logra aumentar la temperatura en 10°C llegando a 50°C logrando disminuir un 5%HR la humedad con respecto a la prueba anterior teniendo una humedad mínima de 18%HR.

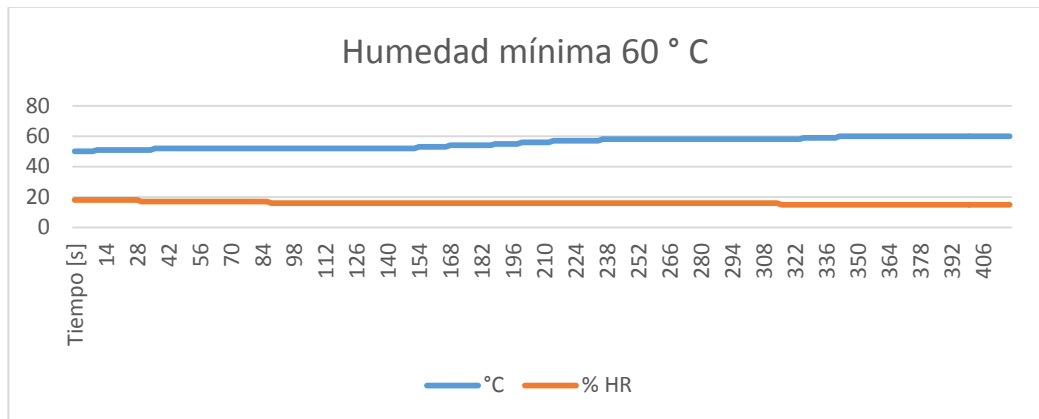
Figura 46. Humedad mínima a 50°C



Fuente. Autores

- A una alta temperatura de 60°C la mínima humedad alcanzada después de 6 minutos es de 13%HR, en la siguiente figura se encuentra documentado .

Figura 47. Humedad mínima a 60°C



Fuente. Autores

Se puede observar que al aumentar la temperatura se hace más sencillo disminuir la humedad ya que la humedad relativa dentro de la cámara es mejor.

En estas pruebas se cumple con el rango objetivo de humedad, pero no en todo el rango de temperatura. Se hace necesaria la limitación de estos rangos, puesto que la relación entre humedad y temperatura dificulta su control independiente.

6.2 PRUEBAS PARA ESTABLECER EL AJUSTE DEL SISTEMA A UNA REFERENCIA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DADA.

El objetivo de estas pruebas es conocer y medir, la respuesta y la estabilidad del sistema a condiciones ambientales de temperatura y humedad previamente determinadas.

Se tomaron 4 pruebas diferentes, para con esto tener diferentes combinaciones de temperatura y humedad, las pruebas se realizaron en los rangos más comunes utilizados en la calibración de termómetros e higrómetros.

Las pruebas realizadas, son las siguientes.

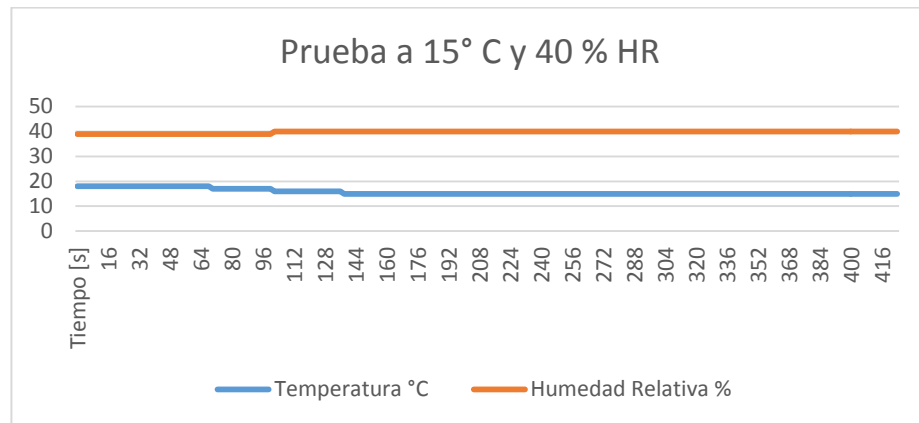
Tabla 24. Pruebas de humedad y temperatura. Fuente: Autores

Prueba	Referencia	
	Humedad % HR	Temperatura °C
1	40	15
2	30	30
3	40	30
4	30	40

- Se busca llevar el ambiente de la cámara desde 18 ° C y 38% HR, hasta 15°C y 40% HR, se toman datos cada 2 segundos del comportamiento de las variables dentro de la misma.

Al sistema le toma 2 minutos y medio llevar el ambiente a estas condiciones, y luego para probar su estabilidad, se toman datos durante 5 minutos más.

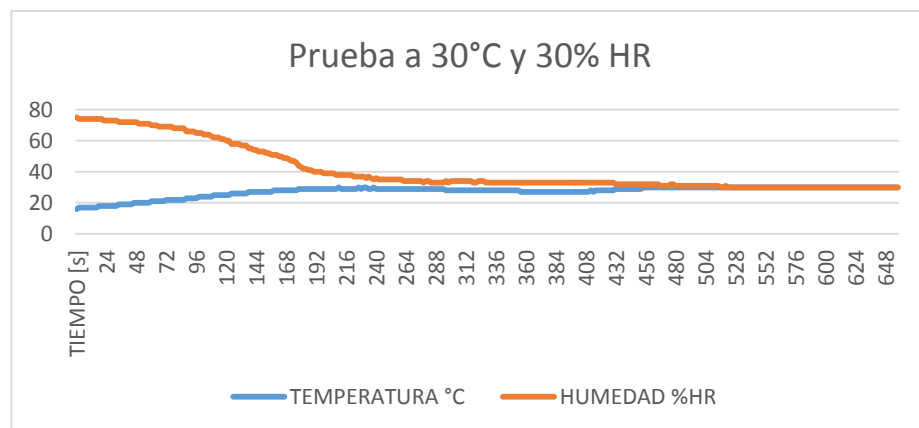
Figura 48. Prueba a 15°C y 40%HR



Fuente. Autores

- Las condiciones en el punto inicial de esta prueba son 18 °C y 74% HR, se busca llegar a 30 °C y 30 % HR. El calentamiento de la cámara, hace que la humedad disminuya rápidamente, y además la des-humidificación adiabática, hace que la temperatura también aumente, el sistema alcanza estas condiciones en un tiempo de 9 min.

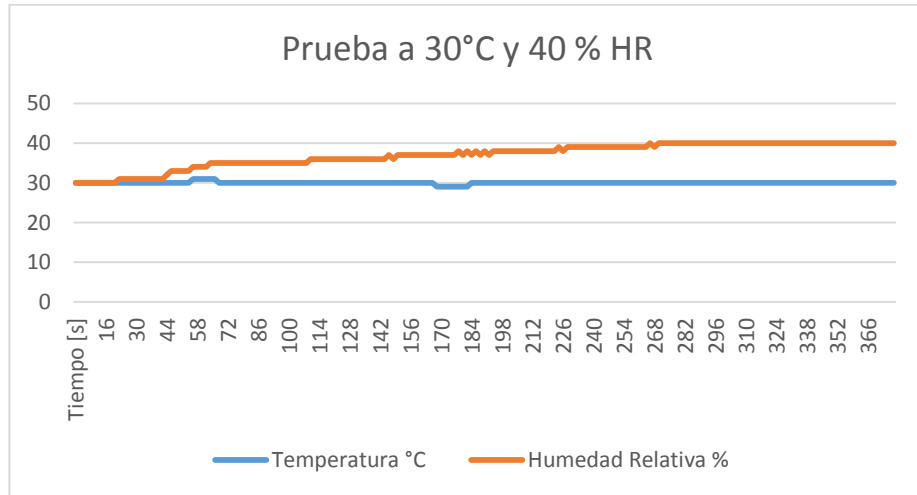
Figura 49. Prueba a 30°C y 30%HR



Fuente. Autores

- Se buscaba aumentar la humedad y mantener la temperatura estable dentro de la cámara, la estabilidad se logra al cabo de 5 min.

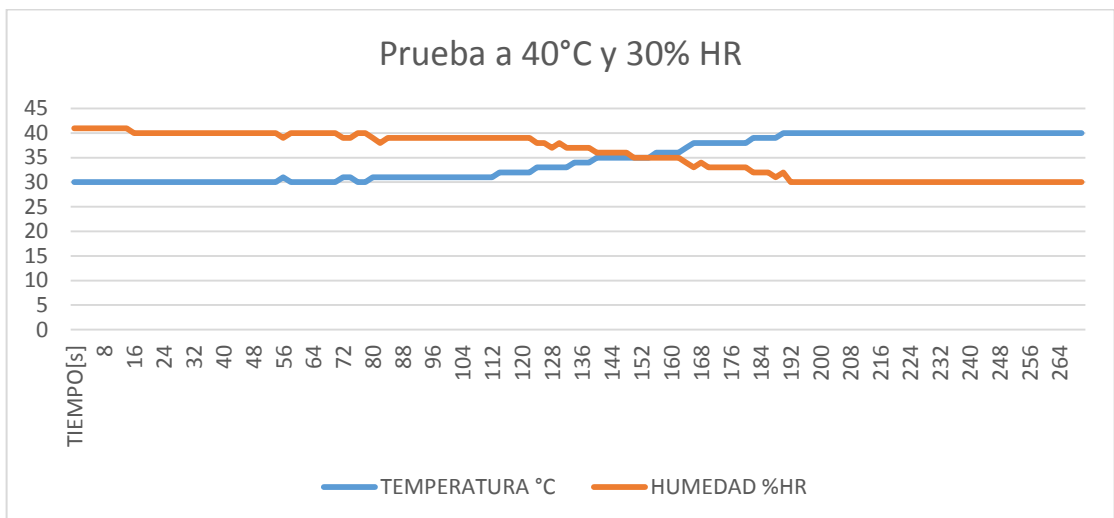
Figura 50. Prueba a 30°C y 40%HR



Fuente. Autores

- Estas son las condiciones más comunes para pruebas de calibración de temperatura y humedad, el sistema tardó 3 min en estabilizar las condiciones.

Figura 51. Prueba a 40°C y 30%HR



Fuente. Autores

7. CONCLUSIONES

- La construcción del prototipo de cámara climática, cumplió con los objetivos planteados, alcanzando los rangos de temperatura y humedad requeridos.
- Se comprobó la estabilidad del prototipo para el posterior diseño de la cámara climática, acatando así las recomendaciones de la Norma DIN 12880:2007.
- Se demostró la viabilidad del proyecto como cámara para controlar, y se proporcionaron los planos, para la posible construcción de la cámara climática.
- Se realiza un manual de operación y mantenimiento, el cual se suministra a la Clínica Foscal, con el fin de asegurar el buen uso y seguridad de la cámara climática.
- Ya que el objetivo del proyecto era la creación de un prototipo, se pueden mejorar en la cámara climática, como la utilización de una rueda desecante de mucho más diámetro y menor longitud, así como la utilización de un sistema de control conjunto de humedad y temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- ASHRAE – “ASHRAE Handbook Refrigeration” – ASHRAE Editor – 2006
- ASHRAE – “ASHRAE Handbook HVAC Systems and Equipment” – ASHRAE Editor 2008
- ASHRAE – “ASHRAE Handbook Fundamentals” – ASHRAE Editor – 2009
- FAIRES, Virgil – “Termodinámica” – Limusa – 1994
- DOSSAT, Roy J. – “Principios de Refrigeración” – Decimo primera edición – Compañía Editorial Continental S.A – 1991
- YUNUS A. CENGEL, AFSHIN J. CHAJAR - “Transferencia de calor y masa” – fundamentos y aplicaciones
- FRANK P. INCROPE, DAVID P. DeWitt – “Fundamentos de Transferencia de Calor” – cuarta edición
- PIERRE RAPIN, PATRICK JACQUARD – “formulario del frio” – S.A MARCOMBO, 1999
- M. CLAVER SALAS – “TERMODINAMICA” – Dossat
- KATSUHIKO OGATA – “Ingeniería de Control Moderna” – TERCERA EDICION
- <http://div-tecnico-cientifica.blogspot.com.co/>
- <http://www.miliarium.com/Prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.asp>
- <http://instrumentacionycontrol.net/cursos-libres/instrumentacion/curso-practico-de-instrumentacion/item/362-los-instrumentos-patron-en-calibracion-conceptos-y-caracteristicas.html>
- <http://www.si3ea.gov.co/Eure/6/inicio.html>

ANEXOS

Anexo A. Planos constructivos de la cámara climática