

DISEÑO DE UNA CÁMARA CLIMATIZADA, AUTOMATIZADA, CON MANEJO DE
INFORMACIÓN POR TELEMETRÍA Y CONDICIONES OPERATIVAS
CONTROLADAS PARA PRUEBAS DE EQUIPOS Y MATERIALES

JOHAN ANDRÉS MUÑOZ GUATIBONZA

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2018

DISEÑO DE UNA CÁMARA CLIMATIZADA, AUTOMATIZADA, CON MANEJO DE
INFORMACIÓN POR TELEMETRÍA Y CONDICIONES OPERATIVAS
CONTROLADAS PARA PRUEBAS DE EQUIPOS Y MATERIALES

JOHAN ANDRÉS MUÑOZ GUATIBONZA

Proyecto integral de grado para optar el título de:
INGENIERO MECÁNICO

Director
Carlos Urrego Rodríguez
Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2018

Nota de aceptación:

Ing. Carlos Urrego Rodríguez
Presidente del Jurado

Ing. Eric Fabien Navarro Arquieiz
Jurado 1

Ing. Carlos Arturo Mendoza Neira
Jurado 2

Bogotá D.C. Febrero de 2018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Secretario General

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCÍA-PEÑA

Decano de Ingenierías

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director de Investigaciones

Ing. ARMANDO FERNÁNDEZ CÁRDENAS

Director Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

AGRADECIMIENTOS

Retribuyo este logro especialmente a Dios todopoderoso quien ha sido mi guía, apoyo y fortaleza para desarrollar y culminar esta etapa de mi vida; a mis padres junto con mi hermano quienes me han orientado, aconsejado y guiado en todo momento con su experiencia personal y profesional.

También Agradecer al Ing. Fabio Miguel Clavijo, Consultor; pues con sus aportes y colaboración a través de su conocimiento y experiencia se logró el desarrollo en la selección de los sistemas de climatización y posteriormente la culminación del proyecto. De igual manera reconocer los aportes realizados durante el proceso de investigación al Ing. Carlos Urrego Rodríguez como docente director del proyecto junto con la atención y colaboración de los profesores de la universidad al Ing. Carlos Mendoza Neira y al Ing. Edwin Rivera Casadiego.

Finalmente, quiero dar créditos a la Ing. Daniela Trujillo Lara, quien estuvo presente en este proceso de investigación de principio a fin aportando sus conocimientos técnicos sobre los sistemas de climatización y control de los mismos; pero también por su constante apoyo moral en los momentos cruciales durante la ejecución del presente proyecto.

A todos y cada uno de ellos, muchas gracias.

Johan Andrés Muñoz Guatibonza

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. GENERALIDADES	19
1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA	19
1.2 REGLAMENTO TÉCNICO DE ETIQUETADO – RETIQ	21
1.3 LABORATORIOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS ENERGÉTICOS	24
1.3.1 Cámara Climatizada	24
1.3.1.1 Climatización	25
1.3.2 Situación actual de las cámaras climatizadas en Colombia	27
1.3.2.1 Ensayos para Refrigeración doméstica y comercial	29
1.3.2.2 Ensayos en diseños y modelos bioarquitectonicos	34
2. DISEÑO PRELIMINAR	36
2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CÁMARA CLIMATIZADA.	36
2.1.1 Equipos e instrumentos de medición	37
2.1.1.1 Refrigeradores y/o congeladores de uso doméstico	37
2.1.1.2 Refrigeradores y/o congeladores de uso comercial	38
2.1.1.3 Arquitectura bioclimática	40
2.1.2 Infraestructura	43
2.1.2.1 Refrigeradores y/o congeladores de uso doméstico	43
2.1.2.2 Refrigeradores y/o congeladores de uso comercial	45
2.1.2.3 Arquitectura Bioclimática	47
2.2 CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN	48
2.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO	48
2.3.1 Métodos de construcción	48
2.3.2 Sistemas de climatización	51
2.3.2.1 Unidad condensadora por agua tipo Chiller	52
2.3.2.2 Unidades tipo Bomba de calor	54
2.3.2.3 Unidad de Precisión	55
3. INGENIERÍA DEL PROYECTO	57
3.1 DISEÑO CONSTRUTIVO	57
3.1.1 Dimensionamiento	57
3.1.2 Materiales de construcción	58
3.1.3 Pisos	60
3.1.4 Estructuras	61
3.1.5 Paredes y techos	76
3.1.6 Puertas	76
3.1.7 Construcción	77
3.2 CALCULO DE LA CARGA TÉRMICA PARA LA CÁMARA CLIMATIZADA	78
3.2.1 Carga térmica para la refrigeración de los ambientes controlados	78

3.2.1.1 Carga sensible por radiación a través de los techos	78
3.2.1.2 Carga sensible por radiación a través de paredes exteriores	80
3.2.1.3 Carga sensible por transmisión de calor a través de los techos	81
3.2.1.4 Carga sensible por transmisión de calor a través de pisos	86
3.2.1.5 Carga sensible por transmisión de calor a través de paredes exteriores	87
3.2.1.6 Carga sensible por transmisión a través de la pared interna de división	90
3.2.1.7 Carga sensible por infiltración y ventilación del aire	92
3.2.1.8 Carga latente por infiltración y ventilación del aire	95
3.2.1.9 Carga sensible por iluminación interna	96
3.2.1.10 Carga Sensible por equipos ubicados en el interior de la cámara	97
3.2.1.11 Carga Sensible por personas en el interior de la cámara	98
3.2.1.12 Carga térmica total para refrigeración de la cámara climatizada	98
3.2.2 Carga térmica para la calefacción de los ambientes controlados	99
3.2.2.1 Carga sensible por transmisión de calor a través de los techos	99
3.2.2.2 Carga sensible por transmisión de calor a través de paredes exteriores	101
3.2.2.3 Carga sensible por transmisión a través de la pared interna de división	103
3.2.2.4 Carga sensible por ventilación de aire	103
3.2.2.5 Carga latente por ventilación de aire	104
3.2.2.6 Carga sensible por iluminación interna	105
3.2.2.7 Carga Sensible por equipos ubicados en el interior de la cámara	105
3.2.2.8 Carga térmica total de calefacción para la cámara climatizada	105
3.3 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN	106
3.3.1 Selección de los sistemas para la refrigeración del aire	106
3.3.2 Diseño y selección de los sistemas para la calefacción del aire	109
3.3.3 Diseño y selección de la unidad manejadora de aire	111
4. CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA	114
4.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR PLANTA DE AGUA HELADA	114
4.1.1 Funcionamiento del sistema	114
4.1.2 Sensores y actuadores	114
4.1.3 Señales para el sistema de refrigeración	115
4.2 SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR PLANTA DE AGUA CALIENTE	116
4.2.1 Funcionamiento del sistema	116
4.2.2 Sensores y actuadores	117
4.2.3 Señales para el sistema de Calefacción	118
4.3 MANEJADORA DE AIRE Y CUARTO DE PRUEBAS	118
4.3.1 Funcionamiento del sistema	119
4.3.2 Sensores y actuadores	119
4.3.3 Señales para la unidad manejadora de aire	120
4.4 Controladores	121
4.5 CONTROL DE LOS SISTEMAS Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA TELEMETRÍA	122

5. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	125
5.1 COSTOS DE INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN	125
5.2 COSTOS DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN	126
5.3 COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN, CONTROL Y TELEMETRÍA	127
5.4 COSTO TOTAL DE LA CÁMARA CLIMATIZADA	128
6. CONCLUSIONES	130
7. RECOMENDACIONES	131
BIBLIOGRAFÍA	132
ANEXOS	136

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Rangos de Eficiencia Energética para los equipos de refrigeración y congelación de uso comercial	47
Tabla 2. Espesor del aislamiento térmico según el coeficiente de transmisión térmica	60
Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36	67
Tabla 4. Factores de absortividad solar y emisividad de los materiales	79
Tabla 5. Condiciones Del aire de Bogotá a 21°C	82
Tabla 6. Condiciones del aire a 2°C y al nivel del mar	84
Tabla 7. Coeficientes de transferencia de calor por convección y conducción del aire para los techos	85
Tabla 8. Coeficientes de transferencia de calor por convección del aire para paredes exteriores	89
Tabla 9. Condiciones del aire a 45°C y al nivel del mar	90
Tabla 10. Coeficientes de transferencia de calor por convección del aire para paredes interiores	91
Tabla 11. Número de renovaciones de aire para diferentes locales	94
Tabla 12. Cargas térmicas totales para refrigeración de la cámara climatizada	98
Tabla 13. Condiciones del aire de Bogotá a 0°C	99
Tabla 14. Cargas térmicas totales para calefacción de la cámara climatizada	105
Tabla 15. Punto de congelación para soluciones con Etilenglicol	106
Tabla 16. Controladores para la planta de agua helada	122
Tabla 17. Costos de Infraestructura	126
Tabla 18. Costos de los sistemas de refrigeración y calefacción del aire	127
Tabla 19. Costos de la instrumentación y control de la cámara climatizada	128
Tabla 20. Costo total para la construcción de la Cámara climatizada	129

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Gráfica 1. Procesos de calefacción y refrigeración en la carta psicométrica	26
Grafica 2. Distribución de los laboratorios de pruebas y ensayos según las entidades participantes.	28
Grafica 3. Tipo de actividad de los laboratorios de ensayo	29
Grafica 4. Clasificación de los Laboratorios que actualmente realizan ensayos energéticos normalizados por las NTC's establecidos en el RETIQ.	30
Grafica 5. Clasificación de los Laboratorios que podrían realizar ensayos energéticos establecidos en el RETIQ según su actual infraestructura.	31
Gráfica 6. Promedio mensual de la radiación solar histórica de Bogotá	78

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Implementación de programas de eficiencia energética en Suramérica, Centroamérica y del Caribe	20
Figura 2. Descripción de la etiqueta normalizada por el RETIQ	23
Figura 3. Cámara climatizada	25
Figura 4. Laboratorio para pruebas y ensayos energéticos para equipos de refrigeración doméstica	34
Figura 5. Ubicación de los instrumentos de medición del aire para los ensayos de los equipos de refrigeración doméstica	39
Figura 6. Rangos históricos de la humedad relativa registrada en Colombia durante el año 2016	40
Figura 7. Rangos históricos de la velocidad del viento registrada en Colombia durante el año 2016	41
Figura 8. Dimensiones de las estructuras para los ensayos energéticos en refrigeradores y congeladores de uso doméstico	44
Figura 9. Soporte giratorio para los diseños arquitectónicos a escala	47
Figura 10. Diseño tipo modular para una cámara climatizada	49
Figura 11. Cámara calorimétrica de ensayos y pruebas	51
Figura 12. Sistema de condensación por agua	53
Figura 13. Condensador evaporativo	54
Figura 14. Bomba de calor	55
Figura 15. Unidad de precisión	56
Figura 16. Dimensionamiento y capacidad de los cuartos de pruebas de la cámara climatizada	58
Figura 17. Composición y aislamiento del suelo de la cámara climatizada	61
Figura 18. Estructura de construcción de la cámara climatizada	62
Figura 19. Distribución equipos de refrigeración doméstica	62
Figura 20. Cargas y dimensionamiento de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica	63
Figura 21. Esquema y diagrama de cuerpo libre para la viga soporte de una nevera doméstica	64
Figura 22. Distribución equipos de refrigeración Comercial	68
Figura 23. Cargas y dimensionamiento de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica	68
Figura 24. Esquema y diagrama de cuerpo libre para la viga soporte de una nevera comercial	69
Figura 25. Ubicación de las cargas y restricciones presentes en la estructura para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración doméstica	72
Figura 26. Ubicación de las cargas y restricciones presentes en la estructura para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración comercial	72

Figura 27. Deformación de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica	73
Figura 28. Esfuerzo elemental nodal de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica	73
Figura 29. Deformación de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial	75
Figura 30. Esfuerzo elemental nodal de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica	75
Figura 31. Sistema de armado y unión entre los paneles de aislamiento y la estructura de la cámara	76
Figura 32. Sistema de apertura y cierre de puertas deslizantes para los cuartos de ensayos de la cámara climatizada	77
Figura 33. Instalación de la cámara climatizada	77
Figura 34. Construcción del techo de la cámara climatizada	81
Figura 35. Composición del suelo de la cámara climatizada	86
Figura 36. Estructura de las paredes exteriores de la cámara climatizada	88
Figura 37. Estructura de las paredes de división de la Cámara climatizada	92
Figura 38. Ubicación de las luminarias en el interior de la cámara climatizada	96
Figura 39. Capacidad total de equipos sometidos a ensayos energéticos	97
Figura 40. Ficha técnica Enfriadora de agua 5 TR	107
Figura 41. Ficha técnica Enfriadora de agua 7.5 TR	108
Figura 42. Ficha técnica bombas centrifugas para agua	109
Figura 43. Ficha técnica calentador de agua a gas	110
Figura 45. Modulación para la Unidad Manejadora de aire	113
Figura 46. Esquema de conexión electrónica para el control de los sistemas de climatización	124

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Productos Objeto del RETIQ	22
Cuadro 2. Composición del aire	26
Cuadro 3. Escala de viento de Beaufort	42
Cuadro 4. Refrigeradores y congeladores de uso doméstico regulados por el RETIQ	44
Cuadro 5. Rangos de Eficiencia Energética para los equipos de refrigeración y congelación de uso doméstico	45
Cuadro 6. Refrigeradores y congeladores de uso comercial regulados por el RETIQ	46
Cuadro 7. Características de los materiales empleados para aislamiento térmico en la construcción de cuartos frigoríficos	50
Cuadro 8. Características técnicas del Poliuretano expandido	58
Cuadro 9. Caudales de aire exterior por persona según la categoría de aplicación	93
Cuadro 10. Señales para el sistema de refrigeración por agua helada	116
Cuadro 11. Señales para el sistema de calefacción por agua caliente	118
Cuadro 12. Cuadro de señales para la unidad manejadora del aire y el ambiente de los cuartos de pruebas	121

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Etiquetado energético en Colombia	137
Anexo B. Carta psicrometrica de Bogotá D.C.	138
Anexo C. Equipos de refrigeración doméstica contemplados para el diseño	139
Anexo D. Equipos de refrigeración comercial contemplados para el diseño	141
Anexo E. Catalogos	143
Anexo F. Cotizaciones	144
Anexo G. Planos	145

RESUMEN

El presente trabajo de investigación y diseño se ha desarrollado partiendo de la necesidad vigente de disponer de un cuarto de pruebas para la evaluación y certificación de equipos regulados por el Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ que requiere una cámara climatizada para evaluar la eficiencia energética de los artefactos de refrigeración doméstica y comercial, de acuerdo con parámetros de funcionamiento establecidos en la normativa nacional vigente.

Inicialmente se caracterizaron las variables del ambiente que se requieren controlar en el interior de la cámara climatizada de acuerdo con las condiciones generales de los ensayos para los equipos a evaluar, estableciendo los rangos de operación para la temperatura ($2^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$), humedad relativa (50% - 98%) y velocidad del aire ($0,254 \text{ m/s}$) en los laboratorios de pruebas.

Se realizó un diseño constructivo donde se establecieron las dimensiones de las superficies de ensayo netas de los dos laboratorios de pruebas con base en la cantidad de equipos a evaluar y sus medidas estándar, donde el cuarto destinado a los ensayos de los artefactos de refrigeración doméstica tiene un área de 24 m^2 (Largo: 6 m, Ancho: 4m) con capacidad de evaluar 6 equipos en simultaneo, mientras que el cuarto destinado a los ensayos de los artefactos de refrigeración comercial tiene una superficie de 36 m^2 (Largo: 6 m, Ancho: 6m) con capacidad de evaluar 3 equipos en simultaneo; la altura de los dos cuartos de ensayos es de 3m.

Se calculó la carga térmica de refrigeración y calefacción para cada uno de los laboratorios de pruebas y se seleccionaron los sistemas de climatización de acuerdo con los parámetros de operación establecidos; de igual manera se seleccionaron la instrumentación y los elementos para el control de los equipos de climatización empleados en la cámara.

Finalmente se determinaron los costos de la implementación del proyecto de acuerdo con los materiales, equipos y sistemas de control seleccionados para su funcionamiento.

PALABRAS CLAVE: Automatización, Calefacción, Cámara climatizada, Diseño, Eficiencia energética, Refrigeración, Telemetría.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación evidencia la *importancia* de un diseño orientado a cubrir una necesidad que tienen la industria fabricante y los importadores de equipos de refrigeración doméstica y comercial, quienes deben realizar pruebas de calidad y eficiencia energética a sus productos, con el objetivo de validar el cumplimiento de las normativas exigidas por los Ministerios de Minas y Energía e Industria y Comercio y así obtener la certificación y el etiquetado requerido en el Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ para poder comercializar dichos productos en el territorio nacional.

El *Origen* del proyecto nace de un estudio realizado por la Unidad de Planeación Minero – Energética UPME, del Ministerio de Minas y Energía, en el año 2015, que constató que el 50% de los laboratorios disponibles para tal fin se especializan en ensayos, el 45% en calibraciones y sólo el 5% realizan las dos funciones¹; donde algunos fabricantes de equipos de refrigeración y climatización doméstica y comercial han desarrollado sus propias cámaras, cuartos o cabinas de prueba, con el propósito de validar los parámetros de diseño y operación de sus productos, orientados al cumplimiento de las diferentes normativas exigidas por la Superintendencia de Industria y Comercio, pero el acceso a éstos se encuentra restringido a sus propios equipos y a los de sus filiales. Existe un solo laboratorio que se encuentra certificado por el Organismo Nacional de Acreditación en Colombia (ONAC) y ubicado en las instalaciones de Challenger Colombia, en Bogotá D.C., laboratorio en el cual la Superintendencia de Industria y Comercio ha solicitado que se realicen las pruebas requeridas de equipos de otros fabricantes, situación que ha generado inconvenientes, evidenciándose la necesidad de contar con un laboratorio de pruebas y ensayos energéticos orientado por una entidad de tercera parte el cual se encuentre acreditado para la certificación de los equipos de refrigeración doméstica y comercial. Con respecto al área de la construcción y la arquitectura, no se cuenta con un laboratorio de pruebas en atmosfera controlada, pero es requerido para la evaluación de los diseños propuestos; actualmente se realizan algunas pruebas a través simulaciones computacionales.

El presente trabajo de grado tiene como *objetivo general* “Diseñar una cámara climatizada, automatizada, con manejo de información por telemetría y condiciones operativas controladas, para pruebas de equipos y materiales”; para el desarrollo del cual se han planteado los siguientes *objetivos específicos*:

¹ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). P. 94.

- Caracterizar la situación actual de las cámaras de pruebas existentes en el país, establecidas para los diferentes campos de aplicación
- Caracterizar los parámetros técnicos y realización del diseño de la cámara de pruebas y ensayos de acuerdo con la normativa vigente
- Definir los sistemas básicos de ventilación, humidificación, climatización, automatización y el manejo de la información por telemetría para la ejecución de las pruebas normalizadas a realizar
- Elaborar el presupuesto para la implementación de la cámara climatizada

El *alcance* del proyecto de investigación sobre el dimensionamiento, selección y funcionamiento de la cámara climatizada está orientado en la ingeniería básica y no en detalle, incluyendo los diferentes sistemas de ventilación, humidificación, climatización, automatización y de telemetría con el objetivo de determinar la pre- viabilidad del mismo, por lo tanto no se efectúa un análisis por modelamiento y simulación del comportamiento de la cámara, ni la construcción e implementación de la misma, ni de sus componentes.

La *metodología* empleada para el desarrollo del proyecto de investigación inició con el estudio de la situación actual sobre los diferentes laboratorios de evaluación y certificación de los productos regulados por el Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ presentes en el país, luego se efectuó la caracterización de las condiciones de operación de la cámara climatizada determinadas por el RETIQ y las normas nacionales asociadas, con las cuales se realizó el diseño básico de la cámara y la especificación de los sistemas requeridos para las condiciones controladas requeridas para el desarrollo de las pruebas de eficiencia energética. Finalizado el diseño básico se procedió a la selección y especificación de los sistemas de refrigeración, calefacción, humidificación, ventilación y automatización de los cuartos de pruebas de la cámara climatizada para finalizar con un estudio de costos que permita determinar el monto de inversión a realizar para la implementación del proyecto.

1. GENERALIDADES

1.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La eficiencia energética se conoce como la capacidad que tiene un equipo o artefacto para operar a plenitud utilizando la mayor cantidad de energía requerida para la puesta en marcha sin alterar la calidad de su funcionamiento, con el objetivo de fomentar el uso adecuado de los recursos naturales y el cuidado del ambiente por medio de la reducción de los índices de contaminación; el Ministerio de Minas y Energía de Colombia define la eficiencia energética como la “Relación entre la energía aprovechada y la total utilizada en cualquier proceso de la cadena energética”².

El alto consumo de energía eléctrica y el acceso limitado al aprovechamiento de energías alternativas genera un alto grado de contaminación a través de la emisión de gases de efecto invernadero, como por ejemplo el dióxido de carbono (CO₂) el cual es un agente de contaminación importante para el calentamiento global y los cambios climáticos que se evidencian en la actualidad.

Por tal motivo, la mayoría de los países de Suramérica, Centro América y del Caribe, han acogido programas institucionales para la regulación y el control acerca del consumo de energía eléctrica como un método para el desarrollo interno a través de programas de cumplimiento obligatorio que controlen y regulen los equipos y artefactos de mayor consumo energético con el objetivo de reducir el porcentaje promedio de la energía consumida en un periodo de tiempo, entre ellos se encuentran los equipos de refrigeración y congelación para uso doméstico o comercial; pues se proyecta que los países de esta región “consumirán 40% más de energía entre el 2010 y el 2020, y tendrán que gastar alrededor de US\$53.000 millones en capacidad de generación eléctrica convencional para garantizar el suministro”³.

Así mismo buscan certificar los equipos de alto consumo energético a través de pruebas y ensayos de laboratorio previamente normalizados, donde se clasifiquen los productos según la eficiencia energética obtenida durante su operación. Esto permite garantizar una alta calidad y eficiencia en los productos comercializados en el interior de cada país a través de estos programas de consumo energético.

² COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado “RETIQ”. Bogotá D.C. 2015. P. 11

³ BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Programas de Normalización y etiquetado de eficiencia energética. En: Serie sobre Eficiencia Energética, Guía E (2015). P. 21.

Figura 1. Implementación de programas de eficiencia energética en Suramérica, Centroamérica y del Caribe.



Fuente: BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Programas de Normalización y etiquetado de eficiencia energética. En: Serie sobre Eficiencia Energética, Guía - E. p. 21. [En línea] Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/7326/Guia-E-programas-normalizacion-etiquetado-eficiencia-energetica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Una de las dificultades que presenta la implementación de los programas de eficiencia energética en cualquier país, se debe a que es un proceso lento debido a que se requiere la participación de muchos sectores políticos y económicos que influyen en el proceso de inclusión.

En el caso de Colombia, existen diferentes organismos reguladores dispuestos a controlar aspectos importantes que permitan generar un desarrollo en el país en ámbitos políticos, sociales, económicos, entre otros, junto con organismos y entidades enfocadas en cada uno de estos, con el objetivo de ampliar las alternativas de desarrollo para la nación.

Un ejemplo acerca de una organización que vela por el desarrollo de la industria en el país es el Ministerio de Minas y Energía, el cual está encargado de controlar y regular las diferentes fuentes energéticas presentes en el país y el consumo de las mismas a través de reglamentos técnicos⁴, tales como:

⁴ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAD PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE
- Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público RETILAP
- Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ

Con el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, el cual empezó a regir desde el 31 de Agosto de 2016, el Ministerio de Minas y Energía desea realizar un seguimiento y control sobre el uso de la energía a determinados equipos que presentan un alto consumo y que son utilizados frecuentemente en lugares residenciales o en zonas industriales; pues el objetivo principal del RETIQ es “establecer medidas tendientes a fomentar el Uso Racional de Energía – URE, en productos que usan energía eléctrica y Gas combustible”⁵.

Para ello se ha creado el Programa de Uso Racional de Energía PROURE; el cual busca concientizar a los fabricantes de equipos a implementar productos más eficientes en el mercado a través del RETIQ con el fin de promover el consumo moderado de energía y así mismo que los consumidores puedan adquirir un producto muy eficiente realizando comparaciones entre las características técnicas de los diferentes productos en el mercado con un único objetivo final el cual logre reducir los porcentajes de consumo energético en el interior del país.

1.2 REGLAMENTO TÉCNICO DE ETIQUETADO – RETIQ

Es una normativa estipulada por el Ministerio de Minas y Energía en Colombia la cual busca informar “el consumo energético, las características técnicas relevantes y el nivel de eficiencia de los equipos que contempla el reglamento”⁶, a través del uso de etiquetas las cuales describan la anterior información de tal manera que el consumidor final pueda interpretarla fácilmente y realizar comparaciones con equipos similares de distintos fabricantes.

Entre los beneficios que el reglamento Técnico de Etiquetado aporta a todos aquellos involucrados en el programa de uso racional de Energía PROURE se encuentran:

- Facilitar la elección del consumidor para la compra de productos en el mercado.
- Plantear oportunidades de mejora continua para los fabricantes de equipos en la industria.
- Fomenta la investigación y desarrollo por medio de laboratorios de ensayos.
- Aprovechar los recursos energéticos presentes en el país

de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). P. 94.

⁵ ARCE ZAPATA, Germán. RETIQ – Reglamento Técnico de Etiquetado y sus alcances en la industria de acondicionamiento del aire y la refrigeración. En: Boletín - Revista ACAIRE Edición N°63, Bogotá Julio – Septiembre de 2016. P. 34.

⁶ LOPÉZ PINEDA; Luis Fernando. Reglamento Técnico de Etiquetado con fines de Eficiencia energética RETIQ. (Resolución 41012/2015). [Diapositivas]. Bogotá. 3 de febrero de 2016. 22 diapositivas.

Los equipos que se encuentran reglamentados por el RETIQ son todos aquellos que presentan un consumo energético a base de la electricidad, como también los que operan con gases combustibles para su operación⁷; clasificados así:

Cuadro 1. Productos Objeto del RETIQ

PRODUCTOS OBJETO DEL RETIQ	
SERVICIO DE VENTA DE EQUIPOS DE USO FINAL DE ENERGÍA	Exhibiciones en almacenes especializados Secciones especializadas en almacenes de cadena Sitios de exhibición de equipos en tiendas Misceláneas Tiendas Virtuales o Sitios Web
ACONDICIONAMIENTO DE AIRE	Acondicionadores de aire para recintos Acondicionadores de aire unitarios
REFRIGERACIÓN	Refrigeradores y/o Congeladores de uso doméstico Refrigeradores y/o Congeladores de uso comercial
BALASTOS PARA ILUMINACIÓN	Balastos electromagnéticos para fuentes luminosas fluorescentes Balastos electrónicos para fuentes luminosas fluorescentes
FUERZA MOTRÍZ	Motores eléctricos monofásicos de inducción tipo jaula de ardilla de 60 Hz, con tensión nominal hasta 240V y potencia nominal desde 0,18W hasta 1,5W Motores eléctricos trifásicos de inducción tipo jaula de ardilla de 60 Hz, con tensión nominal hasta 600V y potencia nominal desde 0,18W hasta 373W
LAVADO DE ROPA	Lavadoras de ropa eléctricas de uso doméstico
CALENTADORES	Calentadores de agua, eléctricos, tipo acumulador Calentadores de agua, a gas, tipo acumulador Calentadores de agua, a gas, tipo paso
GASODOMÉSTICOS PARA LA COCCIÓN DE ALIUMENTOS	Mesa de trabajo auto soportable o empotrable Cocinas de sobremesa Cocinas empotrables Mesa de trabajo y gratinador Cocinas de sobremesa Hornos

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado "RETIQ". Bogotá D.C. 2015. P.8. Modificada por el autor.

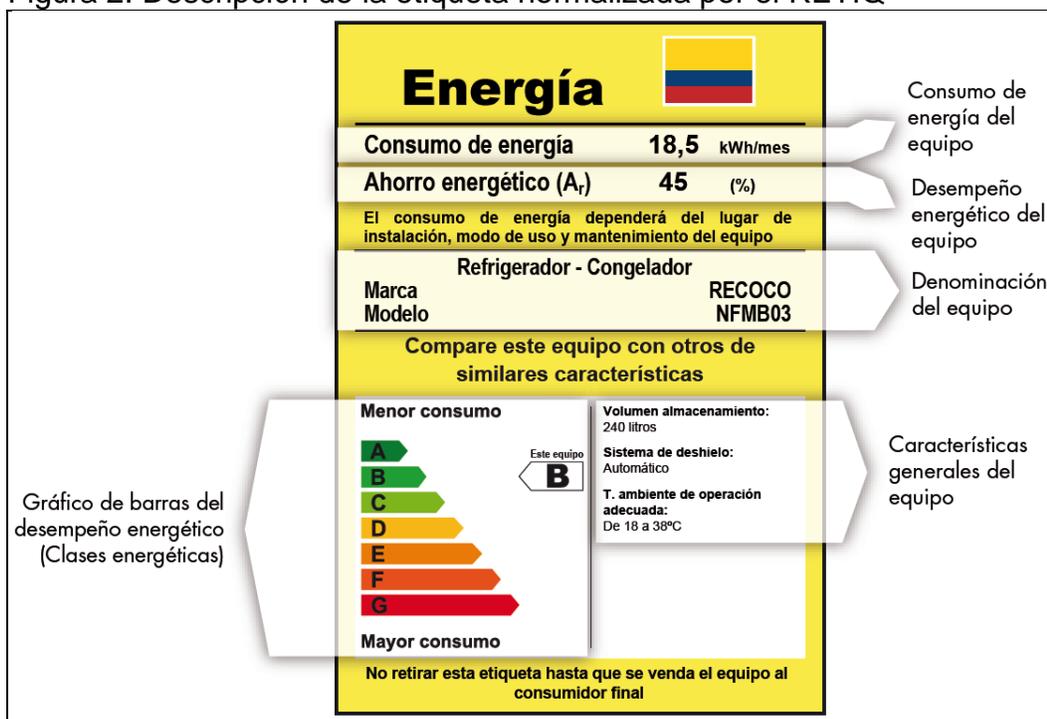
El Reglamento Técnico de Etiquetado demanda el uso de una etiqueta normalizada en los productos regulados por esta norma, la cual describa la "información sobre

⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado "RETIQ". Bogotá D.C. 2015. P. 8.

consumo e indicador de desempeño energético, clasificación de desempeño y características técnicas de un equipo”⁸. Esta etiqueta debe estar adherida al producto en una zona donde el consumidor pueda identificarla con facilidad y declarando claramente la información requerida en el rotulo comparativo.

El uso de esta etiqueta representa la certificación sobre el cumplimiento de las normas estipuladas por el RETIQ a todos los productos regulados por el reglamento, a través de una evaluación de conformidad, la cual esta descrita asi:

Figura 2. Descripción de la etiqueta normalizada por el RETIQ



Fuente: ETIQUETADO ENERGÉTICO COLOMBIA. Programa Colombiano de normalización, acreditación, certificación y etiquetado de equipos de uso final de energía. 2016. P. 3. [En línea]. Disponible en:

El proceso de certificación para los equipos de consumo energético regulados por el RETIQ se desarrolla en laboratorios de pruebas y ensayos especializados los cuales determinan la cantidad real de energía consumida en un tiempo determinado, como también la eficiencia energética durante su operación; estos laboratorios deben estar acreditados por el Organismo Nacional de Acreditación – ONAC.

Los organismos que realizan los ensayos energéticos a través del uso de laboratorios de pruebas y se encuentren acreditados por la ONAC son las entidades encargadas de evaluar y certificar los productos regulados por el RETIQ a través de

⁸ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado “RETIQ”. Bogotá D.C. 2015. P.32.

la etiqueta URE normalizada según los resultados obtenidos durante la evaluación de la conformidad.

1.3 LABORATORIOS DE PRUEBAS Y ENSAYOS ENERGÉTICOS

Un laboratorio de pruebas y ensayos energéticos es un cuarto cerrado donde se adecuan las condiciones requeridas para determinar la eficiencia energética de un producto a través del consumo de energía en un periodo de tiempo; generalmente se emplean cámaras climatizadas donde se simulan los ambientes de operación a los cuales fueron diseñados.

Algunas organizaciones certificadas para la ejecución de los ensayos normalizados por el RETIQ se caracterizan por tener un laboratorio de primera parte, es decir, que tienen la capacidad de ejecutar las pruebas y ensayos de evaluación de los equipos a certificar, pero estos organismos tienen “una relación legal o de propiedad con las partes involucradas en el producto a ensayar, o con los demás proveedores del mismo producto”⁹; mientras que un laboratorio de tercera parte es una organización la cual “es independiente tanto de las partes involucradas en el producto a ensayar, como de los demás proveedores del mismo producto”¹⁰

1.3.1 Cámara Climatizada. Una cámara climatizada es un cuarto totalmente sellado y aislado del exterior por muros o paredes con materiales de baja conductividad térmica, el cual funciona por el principio de la climatización del aire, generando unas condiciones de ambiente requeridas en su interior a través de la regulación y la adaptación de las propiedades físicas del aire para así satisfacer las necesidades o exigencias de cualquier proceso industrial; generalmente son empleados en la industria alimenticia para la conservación de alimentos, materias primas o en otras industrias, para pruebas o ensayos de equipos o productos, determinando su comportamiento a unas condiciones atmosféricas, la conservación de medicamentos, entre otros casos donde se requiera contar con un ambiente determinado.

⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado “RETIQ”. Bogotá D.C. 2015. P 12.

¹⁰ Ibid., P. 12

Figura 3. Cámara climatizada



Fuente: ESC CLEANROOMS. Cleanroom & Critical Environment Solutions. Canada and Usa.2016. [En línea]. Disponible en: www.e-s-c.com/

Este equipo generalmente es empleado o utilizado para lograr la simulación de un ambiente específico en su interior, donde es necesario controlar las principales variables físicas del aire como son la temperatura y la presión, la velocidad del aire con la que circula, la humedad relativa, la calidad, limpieza y/o salinización, empleando diferentes sistemas y equipos para generación y el control de cualquier ambiente y la conservación de sus condiciones climáticas.

1.3.1.1 Climatización. La climatización consiste en controlar las propiedades físicas del aire dentro de un cuarto, habitación o espacio cerrado, creando unas condiciones climáticas deseadas según los requerimientos necesarios para un proceso o una actividad específica; es decir, brindar determinadas condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y presión necesarios a un ambiente cerrado para lograr un bienestar en las personas y/o la conservación de productos¹¹. Esta técnica se encuentra presente en aplicaciones como la adecuación de ambientes de confort o ambientes industriales, para aplicaciones como el uso y calibración de instrumentos de medición, tratamiento y conservación de alimentos y medicamentos, climatización de salas de computo, entre otros.

Para climatizar un ambiente específico se deben tener en cuenta: la composición de los diferentes gases que conforman el aire, las diferentes propiedades para su manejo y conservación según unas condiciones requeridas, su densidad teórica de 1,293 gr/litro a nivel del mar, su conformación por un alto porcentaje de nitrógeno y de oxígeno, además de otros componentes que permiten obtener un ambiente específico¹².

¹¹ GRIMM, Nils y ROSALER, Robert. Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Volumen I. Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 1996.

¹² PINAZO OJER, José Manuel. Manual De Climatización: Transformaciones psicométricas. Tomo I. México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2009.

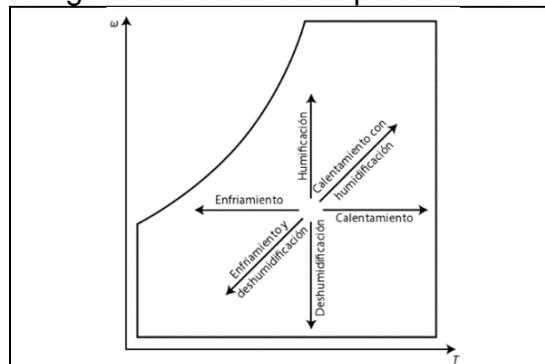
Cuadro 2. Composición del aire.

	COMPONENTE	SÍMBOLO QUÍMICO	CONCENTRACIÓN APROXIMADA
Gases Permanentes	Nitrógeno	N ₂	78.08%
	Oxígeno	O ₂	20.95%
	Argón	Ar	0.93%
	Neón	Ne	0.018%
	Helio	He	0.0005%
	Hidrógeno	H ₂	0.00006%
	Xenón	Xe	0.000009%
Gases Variables	Vapor de Agua	H ₂ O	0 a 4%
	Dióxido de Carbono	CO ₂	0.0036%
	Metano	CH ₄	0.00017%
	Óxido Nitroso	N ₂ O	0.00003%
	Ozono	O ₃	0.000004%
	Clorofluorocarbonos	CFCs	0.0000002%

Fuente: CAMILLONI, Inés y VERA, Carolina. El aire y el agua en nuestro planeta. Buenos Aires, Argentina: Eudeba, 2007. P 9. Modificada por el autor

Por medio de estas propiedades el aire se puede controlar o acondicionar físicamente a través de variables como la temperatura, el contenido de humedad, calidad y velocidad de flujo del aire; La temperatura y la humedad se pueden controlar a través del uso de la carta psicrométrica, la cual describe los procesos requeridos para alcanzar el grado de temperatura junto con el porcentaje de humedad relativa de un ambiente requerido.¹³

Gráfica 1. Procesos de calefacción y refrigeración en la carta psicrométrica



Fuente: Termodinámica para ingenieros, BARBOSA, Juan; GUTIERREZ, Claudia

¹³ BARBOSA SALDAÑA, Juan y GUTIÉRREZ TORRES, Claudia. Termodinámica Para Ingenieros. Distrito Federal, MÉXICO: Grupo Editorial Patria, 2015.

Las cámaras de climatización empleadas para los ensayos de eficiencia energética son cuartos cerrados que permiten controlar la temperatura y humedad relativa contenida en el aire, con unos rangos de variación dependiendo las condiciones que las normas establecen para la ejecución de las pruebas a los respectivos productos; Generalmente estos laboratorios destinados a pruebas y ensayos usan un sistema de climatización por calorímetro, el cual consta de “un sistema de refrigeración convencional, auxiliado por ventiladores, dampers, un conjunto de resistencias eléctricas y por una bandeja de humidificación”¹⁴.

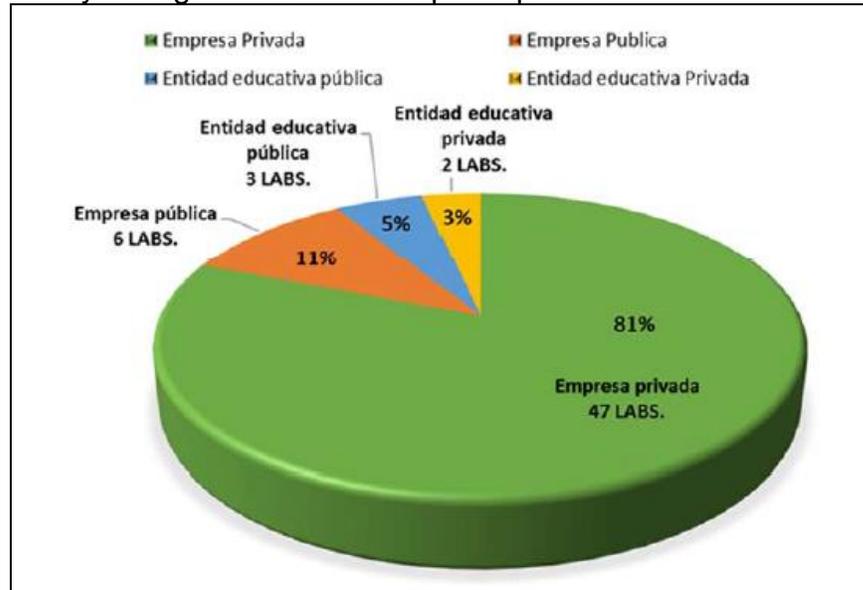
1.3.2 Situación actual de las cámaras climatizadas en Colombia. Un estudio realizado en 2015 por la unidad de Planeación Minero Energética - UPME, determinó que en Colombia existen 93 laboratorios registrados en la Confederación Nacional de Cámaras - CONFECÁMARAS y previamente certificados por el Organismo Nacional de Acreditación en Colombia - ONAC destinados a realizar diferentes pruebas o ensayos¹⁵; de los cuales el Ministerio de Minas y Energía cuenta con 74 laboratorios de pruebas y ensayos, clasificados como laboratorios certificadores, laboratorios medidores de magnitudes físicas o laboratorios de calibración disponibles para la implementación del presente reglamento técnico.

Los laboratorios disponibles para efectuar las pruebas descritas en el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, pertenecen a instituciones educativas públicas y privadas, empresas fabricantes privadas y empresas de servicios públicos.

¹⁴ TESTONI KNABBEN, Fernando. Um estudo in-situ da formação de geada em evaporadores No-Frost. Trabajo de grado para Maestría en Ingeniería mecánica. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina. 2010. P. 60.

¹⁵ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). P. 94.

Grafica 2. Distribución de los laboratorios de pruebas y ensayos según las entidades participantes.



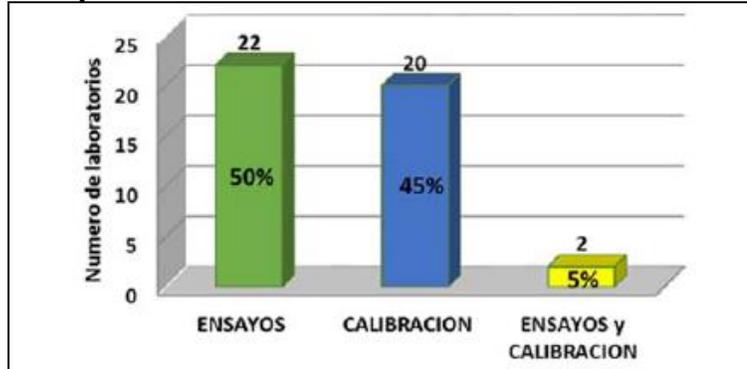
Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de Laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). P. 94

Las principales entidades encargadas de implementar y controlar el RETIQ, realizaron un estudio en el año 2015 con el fin de determinar la red de laboratorios disponibles para este reglamento técnico, realizando encuestas a 74 laboratorios seleccionados a través de un muestreo aleatorio. Entre los principales resultados obtenidos se conoció que entre Bogotá y Medellín se encuentran la mayor cantidad de laboratorios acreditados y certificados, con el 47% y el 8% respectivamente.

Para una muestra de 44 laboratorios que cumplen con especificaciones técnicas y de calidad descritos en el RETIQ para los ensayos y pruebas descritas, se determinó la actividad de los cuartos de pruebas, donde 22 laboratorios (50%) se especializan en ensayos, 20 laboratorios (45%) en calibraciones y tan solo 2 laboratorios (5%) realizan ambas funciones. Del mismo modo se identificó el nivel de acreditación de los laboratorios, donde 8 laboratorios (18%) se encuentran acreditados por la Superintendencia de Industria y Comercio SIC, 29 laboratorios (66%) por el Organismo Nacional de Acreditación ONAC y 7 laboratorios (16%) no se encuentran acreditados.¹⁶

¹⁶ Ibid., p. 118

Grafica 3. Tipo de actividad de los laboratorios de ensayo



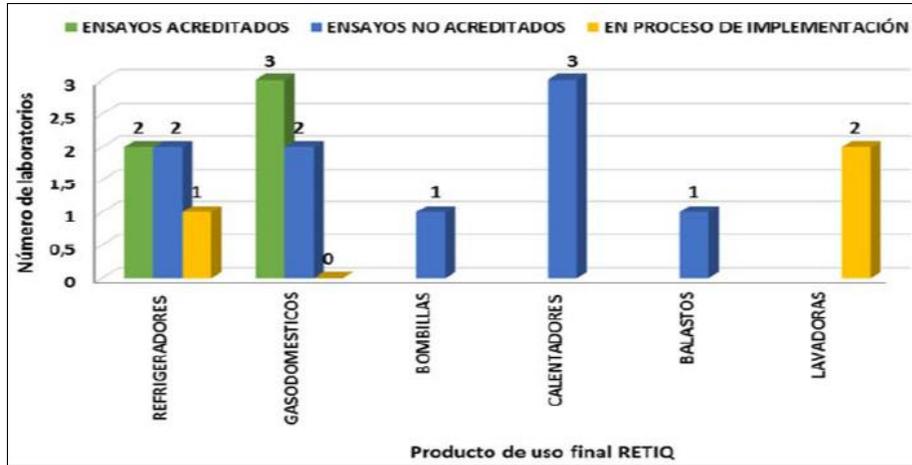
Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAD PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad – SNCA. 2015. P. 94. [En línea]. Disponible en:

1.3.2.1 Ensayos para Refrigeración doméstica y comercial. Cada uno de los equipos regulados por este reglamento técnico cuenta con unos ensayos o pruebas que son de tipo general, donde se ponen a prueba las características técnicas globales de cada tipo según el equipo; pero también existen unas pruebas específicas, con el fin de controlar y calibrar magnitudes físicas que estos equipos presentan durante su operación. Entre las pruebas más comunes que realizan los fabricantes de productos en Colombia y que se encuentran actualmente cubiertas y acogidas por el RETIQ son las pruebas de Temperatura y de medición de energía.

La Unidad de Planeación Minero Energética - UPME estableció un total de 17 laboratorios especializados en la ejecución de las diferentes pruebas de evaluación y ensayos estandarizados por las Normas Técnicas Colombianas descritas para cada uno de los equipos controlados y regulados por el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, donde únicamente 2 laboratorios se encuentran con la acreditación por el Organismo Nacional de Acreditación ONAC para realizar la respectiva evaluación energética especialmente en los productos de refrigeración doméstica¹⁷.

¹⁷ Ibid., p. 125

Grafica 4. Clasificación de los Laboratorios que actualmente realizan ensayos energéticos normalizados por las NTC's establecidos en el RETIQ.

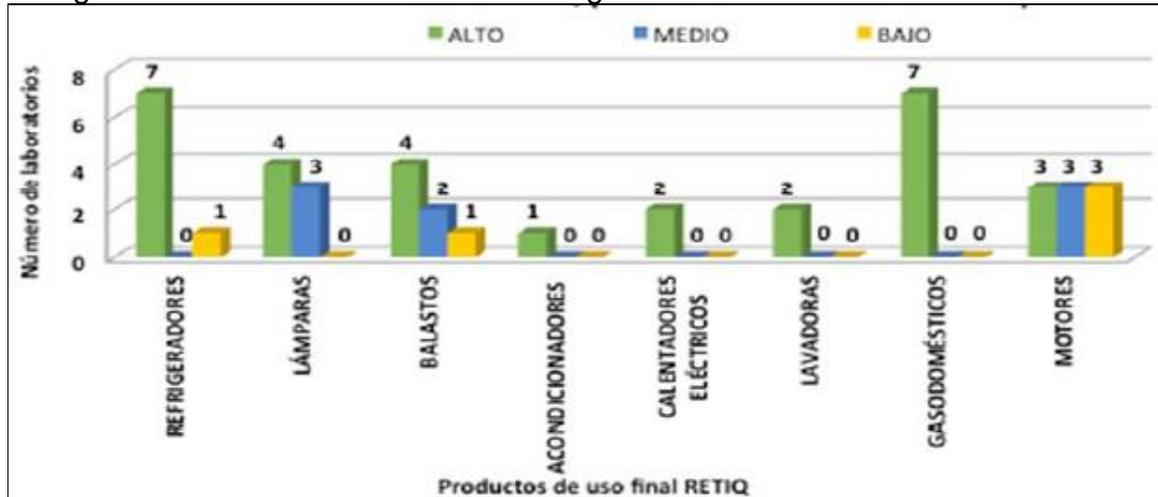


Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAD PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad - SNCA. [En línea] (2015). P. 125

Entre la muestra anterior de los 44 Laboratorios evaluados, se determinó que 30 laboratorios podrían realizar las pruebas y ensayos con un alto nivel de calidad y eficiencia, 8 laboratorios tendrían un desempeño medio y 5 laboratorios con un nivel bajo¹⁸; Estos laboratorios se dividen según los ensayos estipulados para los equipos regidos por el RETIQ, así:

¹⁸ Ibid., p. 131

Grafica 5. Clasificación de los Laboratorios que podrían realizar ensayos energéticos establecidos en el RETIQ según su actual infraestructura.



Fuente: UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad - SNCA. [En línea] (2015). P. 131.

Las empresas fabricantes de sistemas de refrigeración doméstica y comercial, requieren realizar pruebas de calidad y eficiencia energética a sus productos con el objetivo de validar el cumplimiento de las normativas exigidas por los Ministerios de Minas y Energía e Industria y Comercio y obtener la certificación y el etiquetado requerido en el RETIQ para poder comercializar dichos productos en el territorio nacional. Algunas compañías de fabricación de equipos de refrigeración y climatización doméstica y comercial han desarrollado sus propias cámaras, cuartos o cabinas de prueba, con el propósito de validar los parámetros de diseño y operación de sus productos, orientados al cumplimiento de las diferentes normativas exigidas por la Superintendencia de Industria y Comercio, pero el acceso a éstos se encuentra restringido a sus propios equipos y a los de sus filiales.

Entre los laboratorios certificados por el Organismo Nacional de Acreditación en Colombia (ONAC) para la realización de las pruebas y ensayos requeridos por el nuevo reglamento RETIQ ubicados en Bogotá D.C. se encuentra el de la empresa Challenger S.A. Colombia ubicado en sus instalaciones de fabricación en Bogotá D.C.; es un laboratorio de primera parte el cual se encuentra acreditado para la ejecución de ensayos en equipos gasodomésticos y de refrigeración; además de ser el único laboratorio “que cuenta con la mayor cantidad de ensayos acreditados bajo las siguientes Normas Técnicas Colombianas”¹⁹.

¹⁹ CHALLENGER. Laboratorio de ensayos, Antecedentes. Consultado el 20 de Marzo de 2017. [En línea]. Disponible en: www.challenger.com.co/laboratorios/laboratorios-acreditados/antecedentes

- NTC 2832-1, Gasodomésticos para la Cocción de alimentos. Parte 1. Requisitos de Seguridad.
- NTC 3531, Artefactos domésticos que emplean gases combustibles para la producción instantánea de agua caliente para usos a nivel Doméstico. Calentadores de paso continuo
- NTC 2386, Seguridad de artefactos electrodomésticos y artefactos eléctricos similares.
- NTC 2183, Artefactos electrodomésticos y similares. Seguridad.
- NTC 2252, Seguridad de artefactos electrodomésticos y artefactos eléctricos similares. Parte 2: Requisitos particulares para refrigeradores, fabricantes de helado y fabricantes de hielo.
- NTC 4097, Artefactos refrigeradores sin escarcha Para uso doméstico. Refrigeradores, refrigeradores con compartimiento para congelar alimentos o almacenar alimentos congelados y congeladores de alimentos.
- NTC 2078, Artefactos refrigeradores domésticos. Refrigeradores con o sin compartimiento de baja temperatura. Características y métodos de ensayo.
- NTC 4982, Dispositivos de control eléctrico automático para uso doméstico y análogo. Parte1: Requisitos generales.
- NTC 5283, Ensayos relativos a los riesgos del fuego. Método de ensayo del hielo incandescente. Ensayo de inflamabilidad para productos terminados.
- NTC 5284, Ensayos relativos a los riesgos del fuego. Método de ensayo del hielo incandescente. Equipos y procedimientos comunes de ensayo.

Por lo tanto, la Superintendencia de Industria y Comercio ha solicitado a los fabricantes de equipos electrodomésticos regulados por el RETIQ, que realicen las pruebas de ensayos requeridas para la acreditación de sus productos en este laboratorio, debido a que es muy completo y puede satisfacer la demanda de equipos a certificar. Esta situación ha generado inconvenientes debido a que las pruebas son realizadas por industrias directamente relacionadas.

Entre otros laboratorios empleados por los fabricantes de equipos de refrigeración para la realización de las pruebas de calidad y eficiencia energética en sus productos se encuentra el Laboratorio de Ensayos Eléctricos Industriales “Fabio Chaparro”, el cual fue diseñado por la Universidad Nacional de Colombia; Junto con el Laboratorio de Eléctrica y Electrónica de la Universidad Central de Colombia.

El Laboratorio de Ensayos Eléctricos Industriales es un laboratorio acreditado que opera desde el año 1994 en las instalaciones de la Universidad Nacional de Colombia y acreditado por el Organismo de Acreditación en Colombia ONAC desde el año 1998, desarrollado por el “Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Colombia y ha sido dotado con recursos humanos y técnicos únicos en el país, para desarrollar

actividades de investigación, capacitación, calibración y ensayos eléctricos a materiales y equipos.”²⁰

Este laboratorio está conformado por diferentes áreas técnicas encargadas de la operación y procedimientos requeridos para el funcionamiento de los laboratorios de ensayos y de metrología; entre el departamento de ingeniería eléctrica de la Universidad Nacional de Colombia se encuentra el área de proyectos, el cual participa en la regulación y control de la eficiencia energética en equipos de consumo energético.²¹ Este laboratorio también se desempeña en la realización de pruebas y ensayos energéticos en diferentes áreas como la generación de impulsos, termoelectricidad, pruebas eléctricas industriales como, ensayos de iluminación, evaluación de la eficiencia energética, entre otros.

El departamento encargado del laboratorio de pruebas y ensayos energéticos se caracteriza por ser participe en la elaboración y evaluación del Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, pues ha realizado aportes junto con el Ministerio de Minas y Energía. Actualmente el laboratorio busca aplicar lo que establece el RETIQ, es decir, utilizar energías alternativas renovables para su autosuficiencia energética logrando así una reducción importante en el consumo de energías convencionales para su funcionamiento²².

²⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Laboratorio de Ensayos Eléctricos Industriales “Fabio Chaparro”. Consultado el 20 de Marzo de 2017. [En línea]. Disponible en: www.labe.unal.edu.co/generalidades.html

²¹ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Laboratorio de Ensayos Eléctricos Industriales “Fabio Chaparro”. Área de Proyectos. Consultado el 20 de Marzo de 2017. [En línea]. Disponible en: www.labe.unal.edu.co/proyectos.html

²² UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. LABE+i, acreditado desde 2004, trabaja en ser sostenible. Bogotá. Publicado el 20 de Mayo de 2016. Consultado el día 15 de Marzo de 2017. [En Línea.] Disponible en: www.ingenieria.bogota.unal.edu.co/noticias/item/1449-labe-i-acreditado-desde-2004-trabaja-en-ser-sostenible

Figura 4. Laboratorio para pruebas y ensayos energéticos para equipos de refrigeración doméstica.



Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Laboratorio de Ensayos Eléctricos Industriales “Fabio Chaparro”. Área de Proyectos. Consultado el 20 de Marzo de 2017. [En línea]. Disponible en: www.labe.unal.edu.co/proyectos.html

1.3.2.2 Ensayos en diseños y modelos bioarquitectónicos. Uno de los campos de la arquitectura que está tomando fuerza en la industria es el área de la arquitectura bioclimática, la cual busca utilizar al máximo los recursos naturales y condiciones climáticas del sitio o lugar donde se desea realizar un edificio con el objetivo de garantizar las condiciones de confort en el interior de la construcción de modo natural y del mismo modo incentivar la eficiencia energética con diseños autosuficientes, limitando el consumo de equipos mecánicos empleados para lograr las condiciones interiores deseadas por los ocupantes del edificio.

En un diseño arquitectónico se deben tener en cuenta diferentes aspectos para su construcción, entre los cuales se encuentran los factores climáticos que se presentan en el lugar donde se realizara un proyecto, es decir, los datos históricos respecto a las temperaturas, humedades relativas, precipitaciones de lluvias, velocidades del viento, la cantidad de radiación solar, entre otros factores climáticos registrados en el sitio.²³

²³ VIDAL VIDALES, Ana Cristina; RICO HERRERA, Luis Ernesto; VÁSQUEZ CROMEYER, Guillermo Francisco. Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible, Fase1. Trabajo de investigación. San Salvador. Universidad Tecnológica de El Salvador. 2010. p. 25 – 26. [En Línea]. Disponible en: www.utec.edu.sv/media/investigaciones/files/Diseno_de_un_modelo_de_vivienda_bioclimatica_y_sostenible.pdf

Para garantizar que un proyecto de construcción sea certificado como bio-arquitectónico y así mismo su viabilidad, se emplean laboratorios de pruebas y ensayos donde se logren simular las condiciones ambientales del lugar a las cuales estará sometida la edificación; estos cuartos de pruebas cuentan con sistemas evaluando espaciamientos entre estructuras aledañas al edificio en prueba, implementación y ubicación de sistemas que funcionan a partir de las energías renovables, comportamientos del sol a través del año para el ingreso de la energía solar en el interior del edificio y así mismo el aprovechamiento de la sombra natural, entre otras.

Para la facultad de Arquitectura de la Universidad de América es importante evaluar los diferentes aspectos que clasifican un edificio como Bio-arquitectónico, como los materiales empleados en el modelo a escala de una edificación propuesta, por medio de diferentes pruebas en un laboratorio con atmósfera controlada con el objetivo de validar el comportamiento de sus diseños ante los posibles cambios climáticos que estarán sometidos antes de ser desarrollados físicamente; para así evaluar y verificar que el flujo de calor entre los ambientes internos y externos sea el mínimo; y así garantizar la calidad, confianza, viabilidad y cumplimiento de las normativas nacionales e internacionales de las construcciones bioclimáticas.

2. DISEÑO PRELIMINAR

Para efectuar el diseño de una cámara climatizada, inicialmente se definieron los parámetros de funcionamiento y operación según los requerimientos establecidos en las normas técnicas para los ensayos energéticos de los equipos de refrigeración doméstica y comercial a través de una caracterización, descrita a continuación:

2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA CÁMARA CLIMATIZADA

Para realizar el diseño de la cámara climatizada, es necesario seleccionar los diferentes equipos que se desean evaluar y que se encuentran normalizados en el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, identificando los reglamentos técnicos donde se especifican las diferentes pruebas y ensayos que los productos deben cumplir para obtener la etiqueta de certificación en eficiencia energética según los resultados obtenidos.

Es importante que los cuartos de pruebas se encuentren aislados en techos, paredes y puertas, incluyendo la iluminación interna, debido a que es necesario recrear temperaturas y humedades relativas en su interior realizando un control constante de estas variables según las tolerancias permitidas en el tipo de ensayo asignado a los equipos regulados por el RETIQ que se desee realizar; Así mismo definir los espacios destinados para los artefactos a evaluar con los respectivos suministros de energía eléctrica, con el fin de facilitar la instalación de los productos a ensayar.

El laboratorio de pruebas estará enfatizado para los equipos de refrigeración doméstica y comercial, además de los ensayos a los modelos arquitectónicos basados en la arquitectura bioclimática; teniendo en cuenta la normativa que rigen y controlan los ensayos establecidos para cada uno de estos casos.

La Superintendencia de Industria y Comercio evalúa unos aspectos importantes en las cámaras climatizadas actuales empleadas para los ensayos de conformidad de cada uno de los equipos a evaluar, con el objetivo de ser acreditadas ante el Organismo Nacional de Acreditación en Colombia ONAC como laboratorios certificadores; entre ellos se encuentran los equipos e instrumentos empleados en los laboratorios para ejecutar los diferentes ensayos, la infraestructura que tiene el cuarto de ensayos para recibir los equipos y productos a evaluar, el recurso y talento humano encargado de realizar las funciones requeridas en las pruebas de laboratorio y el sistema de gestión de calidad.²⁴

²⁴ UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). P. 14.

Para el diseño de la cámara se tendrán en cuenta los parámetros que deben tener los laboratorios certificadores con respecto a los dos primeros aspectos así:

2.1.1 Equipos e instrumentos de medición. Estos elementos hacen referencia a los diferentes instrumentos que controlan los sistemas de climatización junto con los sensores de medición durante la evaluación de los equipos; estos sistemas se seleccionaron de acuerdo con las normas establecidas para cada categoría, descritas a continuación:

2.1.1.1 Refrigeradores y/o congeladores de uso doméstico. Para los equipos refrigeradores y congeladores domésticos se tienen en cuenta los diferentes métodos de ensayo establecidos en las Normas Técnicas colombianas NTC 5891 “Artefactos de refrigeración doméstica, características y métodos de ensayo” y NTC 5020 “Eficiencia energética en artefactos Refrigeradores, Refrigeradores-Congeladores y Congeladores de uso doméstico”.

Los refrigeradores y congeladores domésticos se diferencian según la clase climática a la que los fabricantes recomiendan para su operación; donde se encuentra la zona Subnormal “SN” que abarca temperaturas de ambiente de 10°C a 32°C, zona Normal “N” para temperaturas ambientales entre 16°C y 32°C, La zona Subtropical “ST” con un rango de temperaturas de 18°C a 38°C y finalmente la zona Tropical “T” con temperaturas de ambiente entre 18°C y 43°C.²⁵

Para las pruebas de ensayo de los equipos refrigeradores y congeladores domésticos, el laboratorio debe mantener la temperatura en el interior del cuarto entre 25°C ±0,5°C para equipos de tipo SN, N y ST; mientras que para los equipos tipo T la temperatura de ensayo debe ser de 32°C con una exactitud de ±0,5°C; realizando un control de tiempo en la toma de datos y medición de las variables no menor a 60 segundos entre cada registro.

Los instrumentos de medición empleados para el control de la temperatura del cuarto de pruebas son las sondas de temperatura, donde los sensores se encuentren entre unos cilindros similares a los elementos empleados para la carga interior de los equipos, con unas dimensiones de altura y de diámetro del cilindro de aproximadamente 15,2 mm y ubicados entre 20 a 30 mm por debajo de la plataforma que sostiene el producto a evaluar y en el centro geométrico del equipo.²⁶

Con respecto a la medición de la humedad relativa para el ambiente controlado para la ejecución de las pruebas de ensayo, esta variable no debe ser superior a 75%

²⁵ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Artefactos de refrigeración doméstico. Características y métodos de ensayo. (NTC 5891). Bogotá D.C. 2011. P. 7.

²⁶ Ibid., P. 22.

debe tener un margen de error de 1%, ubicando el instrumento para la medición de esta variable “Punto de condensación” en un lugar representativo.

La velocidad del aire presente en el interior de la cámara de ensayos debe ser igual a los 0.25 m/seg, realizando mediciones en cada una de las paredes que se encuentran cerca del equipo durante el ensayo.

La medición referente al consumo eléctrico de los equipos de refrigeración y congelación doméstica se debe realizar en unidades de KiloWatio-Hora “KWh”, donde se obtengan lecturas en los medidores hasta 0.001 kWh con una exactitud de $\pm 1\%$ con respecto a la energía total consumida durante la ejecución de los ensayos.

2.1.1.2 Refrigeradores y/o congeladores de uso comercial. Para los equipos refrigeradores y congeladores comerciales se tienen en cuenta los diferentes métodos de ensayo establecidos en las Normas Técnicas colombianas NTC 4838 “Equipos de refrigeración comercial. Métodos de ensayo” y NTC 5310 “Eficiencia energética en equipos de Refrigeración comercial. Rangos de eficiencia y etiquetado”.

Para realizar el ensayo energético de los equipos de refrigeración o congelación comercial, el cuarto de pruebas y ensayos debe tener una temperatura controlada en el ambiente interno de $32^{\circ}\text{C} \pm 1,5^{\circ}\text{C}$. Para evaluar y controlar la temperatura durante el ensayo, se requieren de instrumentos de medición como termopares con un error de medición de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, y termómetros de resistencia eléctrica (Termistores) con un error de medición de $\pm 1^{\circ}\text{C}$ aproximadamente.

Los sensores medidores de la temperatura en el interior del cuarto se deben ubicar así:

- A la mitad de la altura total del equipo a ensayar, espaciado a 31 centímetros del frente.
- A la mitad de la altura total del equipo a ensayar, espaciado a 31 centímetros del lado izquierdo.
- A la mitad de la altura total del equipo a ensayar, espaciado a 31 centímetros del lado derecho.

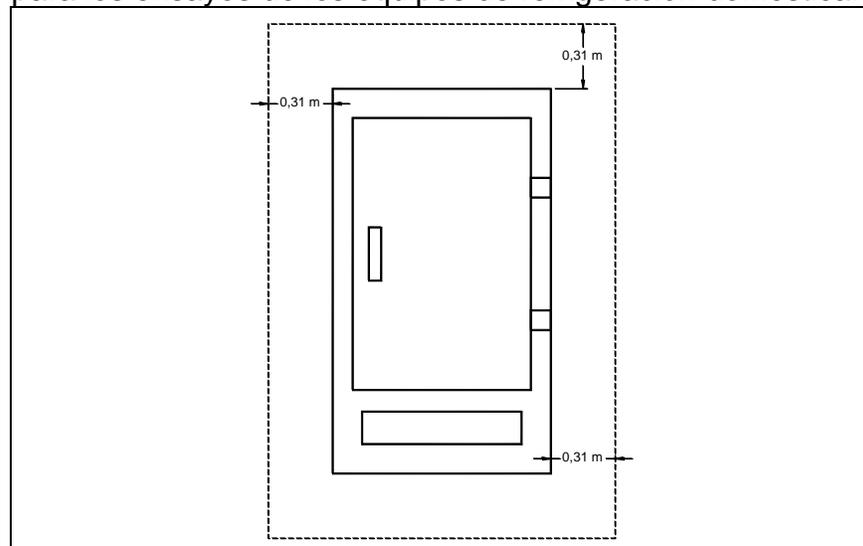
Con respecto a la humedad relativa, el interior del laboratorio de ensayos debe recrear una humedad relativa en el ambiente interno de 65% con una variación permisible de $\pm 5\%$ para la realización del ensayo de eficiencia energética.

La ubicación de los sensores medidores de la humedad relativa presente en el ambiente interno del cuarto de pruebas, pueden situarse en cualquier lugar exceptuando las superficies destinadas para el suministro y retorno del aire

controlado. Para medir y controlar el porcentaje de humedad contenido en el aire, se emplea el Higrómetro y Psicrómetro, con un margen de error de $\pm 2\%$, como instrumentos de control.²⁷

Debido a que los equipos evaluados por el ensayo de eficiencia energética no se encuentran diseñados para soportar altas velocidades de aire, el reglamento técnico sugiere un manejo de la velocidad del aire no superior a los 0,25 m/seg. Esta variable se puede controlar empleando el anemómetro como instrumento de medición y se pueden ubicar en las esquinas de la unidad a evaluar cómo se observa en la *Figura 5*.²⁸

Figura 5. Ubicación de los instrumentos de medición del aire para los ensayos de los equipos de refrigeración doméstica.



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Eficiencia energética en equipos de refrigeración comercial. Rangos de eficiencia y etiquetado. (NTC 5310). Bogotá D.C. 2004. P. 7

Para facilitar la instalación y preparación de los equipos de refrigeración y congelación comercial, la cámara deberá contar con un suministro de energía en su interior con una tensión de 115 V para los equipos que trabajan con 110, 115 y 127 V, mientras que los equipos que operan bajo los 220 V serán alimentados eléctricamente por una fuente de 230 V; ambas tensiones con una diferencia permisible de ± 2 V a una frecuencia de 60 Hz $\pm 0,8\%$.²⁹

²⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Eficiencia energética en equipos de refrigeración comercial. Rangos de eficiencia y etiquetado. (NTC 5310). Bogotá D.C. 2004. P. 7.

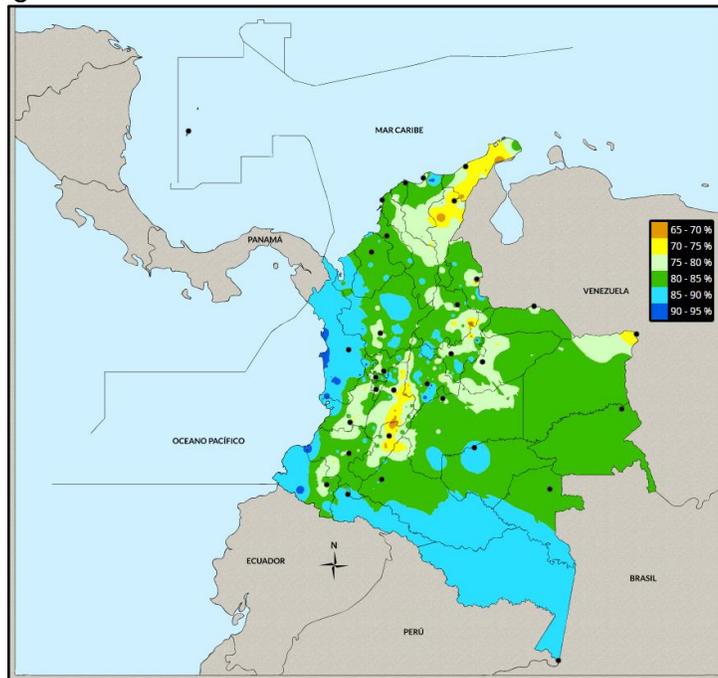
²⁸ Ibid., p. 8.

²⁹ Ibid., p. 9.

La duración del ensayo para la certificación de la eficiencia energética de los equipos puestos a prueba debe ser de 24 horas continuas; para ello hay un tiempo previo de preparación de los equipos de 2 horas, para cargar los equipos con los paquetes de carga y sensores interiores establecidos en la norma NTC 5310.

2.1.1.3 Arquitectura bioclimática. Para realizar las diferentes pruebas y ensayos en los modelos a escala diseñados a través de la Bioarquitectura, es necesario conocer las condiciones climáticas reales del ambiente y la ubicación en donde el edificio será construido; por lo que el cuarto debe variar y controlar la temperatura del ambiente con un rango que simule las temperaturas desde la más baja hasta la más alta según los registros históricos anuales obtenidos en el sitio donde se situará la edificación y a las cuales estará sometido el edificio. Del mismo modo se controlará la humedad relativa del aire.

Figura 6. Rangos históricos de la humedad relativa registrada en Colombia durante el año 2016.

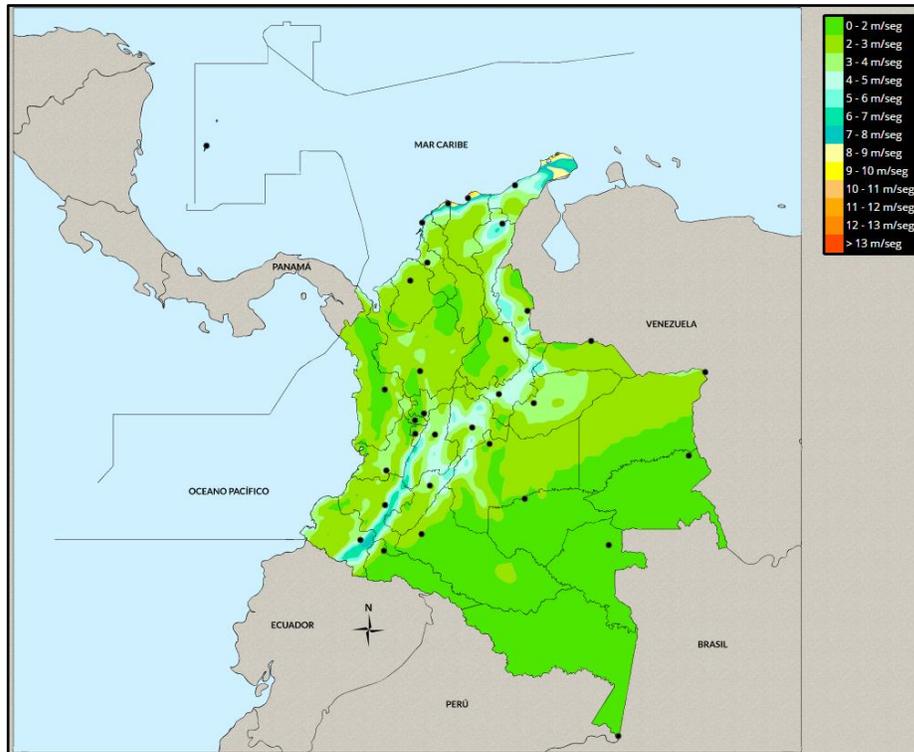


Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA IDEAM. Atlas climatológico de Colombia: Humedad relativa media anual. Bogotá. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

La velocidad del viento es la variable del ambiente más crítica para la ejecución de los ensayos en los modelos sometidos a evaluación, pues generalmente se requiere de un túnel de viento el cual simule las altas velocidades que el viento puede alcanzar a tener dependiendo la zona geográfica donde se requiera construir. Para determinar el rango de velocidades del aire que se requieren simular, es importante

consultar e identificar las escalas de Beaufort descrita en el *Cuadro 3*, en donde las velocidades del viento son clasificadas en diferentes rangos según la fuerza e intensidad del mismo dependiendo del comportamiento del mar³⁰; de igual manera consultar los datos históricos anuales registrados en el lugar donde estará ubicada la edificación.

Figura 7. Rangos históricos de la velocidad del viento registrada en Colombia durante el año 2016.



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES DE COLOMBIA IDEAM. Atlas climatológico de Colombia: Velocidad del aire media anual. Bogotá. D.C. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>.

³⁰ DE LA LANZA ESPINO, Guadalupe; CÁCERES MARTÍNEZ, Carlos; ANDAME MARTÍNEZ, Salvador; HERNÁNDEZ PULIDO, Salvador. Diccionario de Hidrología y ciencias afines. Ciudad de México. 1999. P. 120.

Cuadro 3. Escala de viento de Beaufort.

Grados Beaufort	Nombre del Viento	Velocidad del Alre		Criterios de Apreciación		
				En el mar	En Tierra	
0	Calma	1 0 0,4 1	Km/h m/s Nudos	Mar en Calma	El humo se eleva verticalmente	
1	Brisa muy Liera	1 5 0,5 1,5 1 3	Km/h m/s Nudos	Formación de ondas con aspecto de escamas pero sin crestas de espuma	El viento inclina el humo pero no hace girar las veletas	
2	Brisa Ligera	6 11 1,3 3,4 4 6	Km/h m/s Nudos	Olas muy pequeñas. Crestas sin romper de aspecto vidrioso	Movimiento de hojas. El aire se siente en el rostro	
3	Pequeña Brisa	12 19 3,5 5,5 7 10	Km/h m/s Nudos	Pequeñas olas. Se inicia la rotura de crestas. Espuma vidriosa. Aparición de espuma de ola diseminada.	Movimiento continuo de hojas y ramas pequeñas.	
4	Moderado	20 28 5,5 8 11 16	Km/h m/s Nudos	Alargamiento de olas cortas. Espuma de olas mas densa	Se levanta polvo y hojas. Agitación del ramaje	
5	Fresco	29 38 8,1 10,9 17 21	Km/h m/s Nudos	Pronunciamiento de olas moderadas. Formación de ovillos de espuma.	Movimiento de arbustos y pequeño arbolado	
6	Fuerte (Bonacible)	39 49 11,4 13,9 22 27	Km/h m/s Nudos	Formación de grandes olas y generalización de crestas de espuma blanca. Brumas	Agitación de grandes ramas. Dificultad para usar el paraguas	
7	Fuerte (Muy Fresco)	50 61 14,1 16,9 28 33	Km/h m/s Nudos	El mar crece y la espuma de las olas se difumina en huellas	Movimiento de arboles. Molestias al caminar de cara al viento	
8	Duro (Golpe de Viento)	62 74 17,4 20,4 34 40	Km/h m/s Nudos	Olas muy de altas de gran longitud. Las crestas se pulverizan.	Rotura de pequeñas ramas. Dificultad para caminar	
9	Muy Duro	75 88 20,5 23,9 41 47	Km/h m/s Nudos	Rotura de olas altas. Huellas de espuma muy densas. Reducción de visibilidad por brumas.	Rotura de ramas medias y grandes	
10	Tempestad (Temporal)	89 102 24,4 28 48 55	Km/h m/s Nudos	Rotura de olas altas con gran violencia. Superficie del agua blanca. Nula visibilidad.	Caida de arboles. Deterioro de tejados y cubiertas	
11	Fuerte Tempestad	103 117 28,4 32,5 56 63	Km/h m/s Nudos	Enorme oleaje con tempestad muy intensa. Nula visibilidad. Navegación muy peligrosa o imposible.	Destrozos importantes en edificaciones y obras civiles	
12	Huracán	118 133 32,6 35,9 64 71	Km/h m/s Nudos			
13		134 149 36,9 40,4 72 80	Km/h m/s Nudos			
14		150 166 40,1 45,4 81 89	Km/h m/s Nudos			
15		167 183 45,1 50 90 99	Km/h m/s Nudos			
16		184 201 50,1 54 100 108	Km/h m/s Nudos			
17		Ciclón	202 220 54,1 60 109 118			Km/h m/s Nudos

Fuente: VILLARRUBIA LÓPEZ, Miguel. Energía eólica. Barcelona, España: Ediciones CEAC. 2004. P. 38 y 39. Modificado por el autor.

2.1.2 Infraestructura. La construcción del cuarto de determinó de acuerdo al dimensionamiento de cada tipo de artefacto de refrigeración regulado por el RETIQ, descritos así:

2.1.2.1 Refrigeradores y/o congeladores de uso doméstico. Los equipos refrigeradores y/o congeladores de uso doméstico deben tener un diseño especial en la infraestructura interna del laboratorio de pruebas, donde los equipos a ensayar deben contar con un espacio determinado enmarcado por una estructura diseñada por tres muros o tabiques verticales en madera con un espesor de 16 a 30 mm y ubicados a los costados del electrodoméstico a 0.3 m, incluyendo el costado de atrás o posterior del equipo con una distancia mínima entre el electrodoméstico y el tabique vertical, casi haciendo contacto con el equipo; esta estructura debe estar separada de la pared del laboratorio a una distancia de igual o superior a 30 mm.³¹

Los equipos que se van a evaluar en el interior de la cámara climatizada se ubicarán en una en una plataforma de madera sólida abierta para la circulación del aire por la superficie baja de los equipos para la instalación de los mismos; con una altura no menor a los 5 cm desde el suelo del cuarto. Esta plataforma debe tener un área superior a la del equipo a ensayar, con una distancia mínima de 30 cm por cada costado del equipo.³²

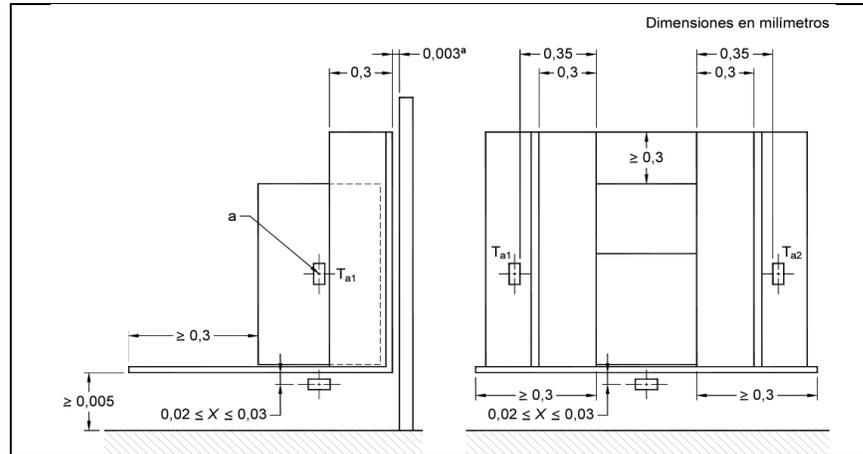
La altura de los tabiques de división empleados para cada producto que se va a evaluar debe tener una altura adicional a la que tiene el equipo en evaluación, es decir, las paredes de la estructura se deben prolongar 30 cm más de la altura nominal de los equipos a ensayar.³³

³¹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Artefactos de refrigeración doméstico. Características y métodos de ensayo. (NTC 5891). Bogotá D.C. 2011. p. 20.

³² Ibid., p. 20.

³³ Ibid., p. 20.

Figura 8. Dimensiones de las estructuras para los ensayos energéticos en refrigeradores y congeladores de uso doméstico



Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Artefactos de refrigeración doméstico. Características y métodos de ensayo. (NTC 5891). Bogotá D.C. 2011. p. 21.

Los equipos de refrigeración y congelación para el uso doméstico que se encuentran regulados y controlados por el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, se clasifican entre los siguientes tipos de unidades de refrigeración:

Cuadro 4. Refrigeradores y congeladores de uso doméstico regulados por el RETIQ.

Categoría	Descripción	Texto etiqueta
1	Refrigerador con uno o más compartimentos de conservación de alimento frescos	Refrigerador
2	Refrigerador - bodega, bodega y armarios para la conservación de vinos	Refrigerador
3	Refrigerador - helador y refrigerador con un compartimiento sin estrellas	Refrigerador
4	Refrigerador con un compartimiento de una estrella	Refrigerador
5	Refrigerador con un compartimiento de dos estrellas	Refrigerador
6	Refrigerador con un compartimiento de tres estrellas	Refrigerador
7	Refrigerador - congelador	Refrigerador - congelador
8	Congelador tipo armario	Congelador
9	Arcón congelador	Congelador
10	Aparatos de refrigeración multiuso y de otro tipo	Refrigerador - congelador

Nota: Los equipos de refrigeración para uso doméstico que no puedan clasificarse en una de las categorías 1 a 9 por la temperatura de los compartimentos se incluirán en la categoría 10.

FUENTE: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado "RETIQ". Bogotá D.C. 2015. P.45.

Los equipos que serán sometidos a los ensayos de consumo energético se deben clasificar en un rango de eficiencia energética según los resultados obtenidos en la prueba; dando a conocer el porcentaje de ahorro relativo mensual comparado con el consumo normalizado para cada tipo de artefactos domésticos de refrigeración.

Cuadro 5. Rangos de Eficiencia Energética para los equipos de refrigeración y congelación de uso doméstico.

Ahorro Relativo Ar (%)	Rango de eficiencia energética
Ar > 78	A
78 > Ar ≥ 67	B
67 > Ar ≥ 56	C
56 > Ar ≥ 45	D
45 > Ar ≥ 25	E
25 > Ar ≥ 5	F

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado "RETIQ". Bogotá D.C. 2015. P. 46.

2.1.2.2 Refrigeradores y/o congeladores de uso comercial. Con respecto a las diferentes normativas que regulan y controlan las pruebas o ensayos referentes al consumo energético de los equipos refrigeradores y/o congeladores de uso comercial, actualmente no se requieren de unos soportes o estructuras reguladas para la ejecución de estos ensayos evaluativos, en comparación a las normas establecidas para los ensayos energéticos en refrigeración y congelación de uso doméstico.

Entre los equipos de refrigeración y congelación para el uso comercial que se encuentran regulados por el Reglamento Técnico de Etiquetado RETIQ, se aprecian los siguientes tipos de equipos:

Cuadro 6. Refrigeradores y congeladores de uso comercial regulados por el RETIQ.

CLASE DEL EQUIPO	TIPO DE EQUIPO	TECNOLOGÍA DE FRÍO	TIPO DE PUERTA	TEXTO ETIQUETA
1	Enfriador vertical	Placa Fría	Sólida	Enfriador vertical de placa fría y puerta sólida
			Cristal	Enfriador vertical de placa fría y puerta de cristal
		Circulación forzada	Sólida	Enfriador vertical de circulación forzada y puerta sólida
			Cristal	Enfriador vertical de circulación forzada y puerta de cristal
2	Enfriador horizontal	Placa Fría	Sólida	Enfriador horizontal de placa fría y puerta sólida
			Cristal	Enfriador horizontal de placa fría y puerta de cristal
		Circulación forzada	Sólida	Enfriador horizontal de circulación forzada y puerta sólida
			Cristal	Enfriador horizontal de circulación forzada y puerta de cristal
		Placa Fría con compartimiento congelador	Sólida	Enfriador horizontal de placa fría, puerta sólida y compartimiento congelador
3	Congelador vertical	Placa Fría	Sólida	Congelador vertical de placa fría y puerta sólida
			Cristal	Congelador vertical de placa fría y puerta de cristal
		Circulación forzada de aire	Sólida	Congelador vertical de circulación forzada y puerta sólida
			Cristal	Congelador vertical de circulación forzada y puerta de cristal
4	Congelador horizontal	Placa Fría	Sólida	Congelador horizontal de placa fría y puerta sólida
			Cristal	Congelador horizontal de placa fría y puerta de cristal
5	Vitrina cerrada de temperatura media			Vitrina refrigeradora
	Vitrina cerrada de temperatura baja			Vitrina congeladora
	Vitrina mixta doble compartimiento			Vitrina mixta

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado "RETIQ". Bogotá D.C. 2015. P. 52- 53.

Los equipos que fueron sometidos a los ensayos de consumo energético se deben clasificar en un rango de eficiencia energética según los resultados obtenidos en la prueba; dando a conocer el porcentaje de ahorro relativo mensual comparado con el consumo normalizado para cada tipo de artefactos de refrigeración y congelación comercial.

Tabla 1. Rangos de Eficiencia Energética para los equipos de refrigeración y congelación de uso comercial.

Rangos de Índice de Eficiencia Energética de referencia.		
Rango	Límite Superior (Incluido) (%)	Límite Inferior (%)
A	40	0
B	55	40
C	70	55
D	85	70
E	100	85
F	115	100
G	En adelante	115

- El porcentaje es respecto al índice de eficiencia energética de referencia nacional.

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado "RETIQ". Bogotá D.C. 2015. P. 53.

2.1.2.3 Arquitectura Bioclimática. Con respecto a las pruebas ambientales que se van a desarrollar en los modelos arquitectónicos a escala, se requiere que la cámara cuente con un área suficiente donde se pueda tener acceso y disposición de un túnel de viento para realizar los respectivos ensayos. Los Diseños de arquitectura deben estar anclados y soportados por una base giratoria, con el objetivo de rotar el modelo en un solo eje para así poder re direccionar el viento y evaluar desde las diferentes perspectivas de la edificación, las situaciones críticas del viento a las que estará sometido.

Figura 9. Soporte giratorio para los diseños arquitectónicos a escala.



Fuente: Ecomodelismo.com. The art of miniature. Soporte de pintado modelos a escala. Navarra, España. 2017. [En línea]. Disponible en: www.ecomodelismo.com/soporte-de-pintado-Ref-TAMI-74522.html

2.2 CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN

La cámara climatizada de atmosfera controlada está diseñada para recrear los diferentes ambientes climáticos establecidos en las diferentes normas técnicas relacionadas con el Reglamento Técnico de Etiquetado para la realización de las diferentes pruebas y ensayos de eficiencia energética especificados anteriormente; del mismo modo simular unas condiciones ambientales con el objetivo de evaluar el comportamiento de diferentes diseños arquitectónicos a escala a condiciones climáticas críticas según la ubicación geográfica donde se encuentra proyectada la edificación.

Para ello, la cámara tendrá unos rangos de operación y control de las principales variables para simular cualquier ambiente climatizado, donde los equipos de climatización tengan la capacidad de variar la temperatura del aire entre los 2°C y los 45°C, la humedad relativa del ambiente entre un 40 y 98% y una velocidad de circulación del aire en el interior del cuarto no menor a 0,254m/s.

Estos rangos de operación y control de las condiciones climáticas garantizarían el éxito de cada una de las pruebas de evaluación que se realizaran a través de la cámara climatizada.

2.3 ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Para la construcción de la cámara climatizada, se proponen dos alternativas para su construcción según los requerimientos de operación que el cuarto debe suplir, entre las que se encuentran los materiales de construcción con su respectivo aislamiento, junto con los sistemas y equipos empleados para la climatización del ambiente interior.

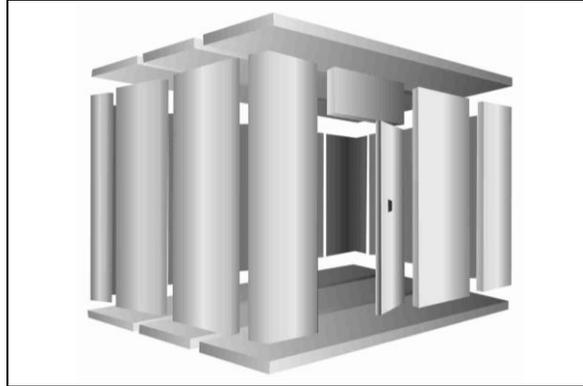
2.3.1 Métodos de construcción. Para el diseño del cuarto es importante definir los tipos de construcción junto con los materiales constructivos de la cámara de climatización según las variaciones climáticas que se desean simular en su interior; entre los tipos de construcciones se pueden emplear estructuras fijas, las cuales emplean materiales rígidos como el cemento o el ladrillo para así dar una forma estructural a los diferentes espacios destinados al funcionamiento de la cámara³⁴, estos muros deben ir acompañados con un material recubierto para la instalación del aislamiento térmico, pues la presencia de ellos en la construcción del cuarto climatizado “limitan considerablemente la entrada de calor y reducen los costes de instalación y funcionamiento de las mismas.”³⁵

³⁴ RAPIN, Pierre; JACQUARD, Patrick. Formulario del frío. Editorial Marcombo S.A. Barcelona 1999. P. 202.

³⁵ CASTILLEJO HERNÁNDEZ, Pablo. Cámara germinadora de semillas. Titulación para ingeniero técnico industrial mecánico. Pamplona. Universidad Pública de Navarra. 2014. P.22.

También existe un sistema de construcción de tipo modular empleado para la construcción de cuartos frigoríficos, el cual se realiza a través de la unión de varios paneles que dan forma y dimensionamiento al cuarto de pruebas; estos paneles contienen un material aislante alojado entre dos revestimientos superficiales diseñados para resistir la humedad relativa, temperatura y demás condiciones que afecten las superficies de las paredes, pisos y techos de la cámara. ³⁶

Figura 10. Diseño tipo modular para una cámara climatizada.



Fuente: REFRIGERAÇÃO CACIQUE. Câmara fria. São José do Rio Preto.2016. [En línea]. Disponible en: www.refrigeracaocacique.com.br/pagina/camara-frigorifica/orcamento

³⁶ RAPIN, JACQUARD. Op. Cit., P. 204

Cuadro 7. Características de los materiales empleados para aislamiento térmico en la construcción de cuartos frigoríficos.

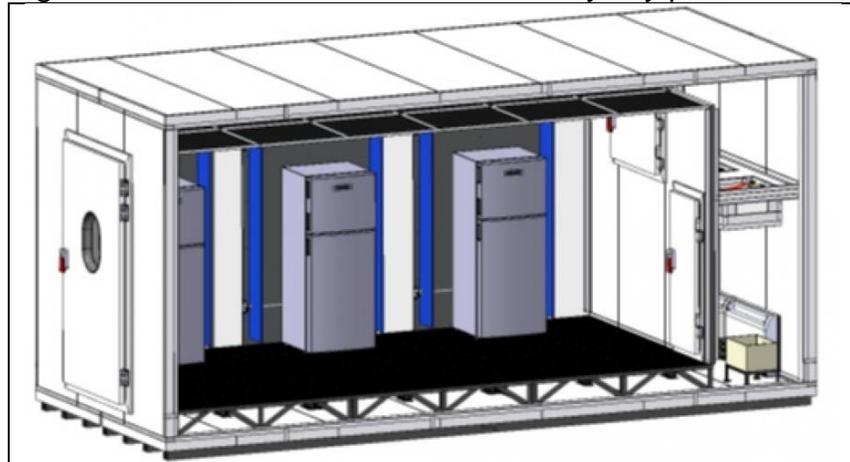
Materiales aislantes	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica k
		W/m·K
Aglomerado de corcho	110	0,039
Espuma elastomérica	60	0,034
Lana de vidrio Tipo I	10-18	0,044
Lana de vidrio Tipo II	19-30	0,037
Lana de vidrio Tipo III	31-45	0,034
Lana de vidrio Tipo IV	46-65	0,033
Lana de vidrio Tipo V	66-90	0,033
Lana de vidrio Tipo VI	91	0,036
Lana mineral Tipo I	30-50	0,042
Lana mineral Tipo II	51-70	0,040
Lana mineral Tipo III	71-90	0,038
Lana mineral Tipo IV	91-120	0,038
Lana mineral Tipo V	121-150	0,038
Perlita extendida	130	0,047
Poliestireno expandido Tipo I	10	0,057
Poliestireno expandido Tipo II	12	0,044
Poliestireno expandido Tipo III	15	0,037
Poliestireno expandido Tipo IV	20	0,034
Poliestireno expandido Tipo V	25	0,033
Poliestireno extrusionado	33	0,033
Polietileno reticulado	30	0,038
Polisocianurato, espuma de	35	0,026
Poliuretano conformado, espuma de - Tipo I	32	0,023
Poliuretano conformado, espuma de - Tipo II	35	0,023
Poliuretano conformado, espuma de - Tipo III	40	0,023
Poliuretano conformado, espuma de - Tipo IV	80	0,040
Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de - Tipo I	35	0,023
Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de - Tipo II	40	0,023
Poliuretano expandido (inyectado)	40	0,024
Urea formol, espuma de	10-12	0,034
	12-14	0,035
Vermiculita expandida	120	0,035
Vidrio celular	160	0,044

Fuente: CASTILLEJO HERNÁNDEZ, Pablo. Cámara germinadora de semillas. Titulación para ingeniero técnico industrial mecánico. Pamplona. Universidad Pública de Navarra. 2014. P.23.

Una aplicación sobre la construcción de cuartos por módulos de aislamiento es la Cámara calorimétrica, pues la climatización por calorimetría es un método muy común para los sistemas de precisión el cual emplea diferentes equipos de control con el fin de acondicionar el ambiente donde se realizarán los ensayos o pruebas; cada variable tiene un instrumento que la controla dado que dichas variables pueden afectar las condiciones normalizadas para la evaluación de los equipos sometidos a prueba.

Este sistema se divide en dos áreas, el área destinada a la instalación de los diferentes sistemas encargados de climatizar el aire a través de humidificadores, deshumidificadores, resistencias de calor, enfriadores del aire, ventiladores para el control de la velocidad al aire, instrumentación y control, y el área principal adecuada para realizar los ensayos, en donde se suministra el aire climatizado según las condiciones climáticas que requiere cada prueba de evaluación energética.³⁷

Figura 11. Cámara calorimétrica de ensayos y pruebas.



Fuente: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Laboratórios de pesquisa em refrigeração e termofísica - POLO. Refrigeradores domésticos e comerciais. Brasil. 2017. [En línea]. Disponible en: www.polo.ufsc.br/projetos/refrigeradores-domesticos-e-comerciais.html

2.3.2 Sistemas de climatización. Para los equipos encargados de recrear los diferentes ambientes controlados, se estudiaron las siguientes alternativas que posiblemente lograrían recrear cualquier calor establecido entre los rangos de operación, así:

³⁷ OROZCO HINCAPIE, Oscar; FONSECA DÍAZ, Nestor. Diseño del laboratorio de pruebas y ensayos de equipos de acondicionamiento de aire LPEA-UTP. Scientia et Technica año XII, N° 31. Red de Revista Científicas de América Latina y del Caribe, España y Portugal. Agosto de 2006. P 91-96.

2.3.2.1 Unidad condensadora por agua tipo Chiller. El sistema de refrigeración por agua consiste en una unidad condensadora la cual recoge la carga térmica que se desea retirar del recinto a climatizar por medio de un fluido refrigerante, el cual llega a un intercambiador de calor conformado por “tubos de transferencia de calor montados dentro de un envolvente de acero”³⁸ el cual transfiere la cantidad calor contenida en el refrigerante al agua en circulación; este sistema generalmente cuenta con un intercambiador tipo Tubo - Coraza para efectuar dicha operación, donde el refrigerante principal circula por los tubos, mientras que el refrigerante secundario (Agua, salmuera o glicol) circula por la coraza.

De igual manera se puede emplear el sistema de doble tubo, el cual “consisten en dos tubos de distintos diámetros y concéntricos”³⁹, donde el refrigerante circula por el tubo de mayor diámetro recubriendo el tubo por donde circula el gas refrigerante para realizar el intercambio de calor entre ambas sustancias; este sistema opera a contracorriente, es decir que las direcciones de los flujos viajan en sentido contrario.

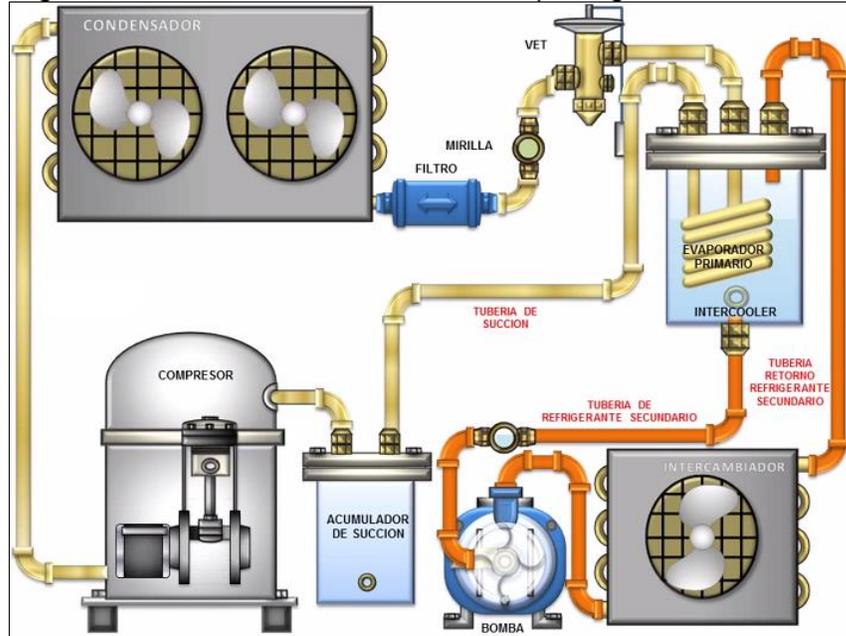
Para emplear este método de refrigeración en un proyecto, “debe preverse de una aportación de agua y dos salidas, una para el agua caliente y otra para el drenaje del agua condensada en el evaporador”⁴⁰; el agua debe estar contenida en un depósito (Tanque) o suministrada a través de una torre de enfriamiento, junto con una motobomba que permita la recirculación del fluido a través de todo el sistema.

³⁸ CARRIER AIR CONDITIONING Co. ALARCON CREUS, José; BOIXAREU VILAPLANA, José María y CAPELLÁN GUILLEN, Carlos. Manual De Aire Acondicionado “Handbook of Air Conditioning System Design”. Barcelona, ES: Marcombo S.A., 2009. P. VII-48.

³⁹ FRANCO LIJÓ, Juan Manuel. Manual de refrigeración. Barcelona, ES: Editorial Reverté, 2012. P. 79

⁴⁰ MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Barcelona, España: Marcombo, 2008. P. 147.

Figura 12. Sistema de condensación por agua

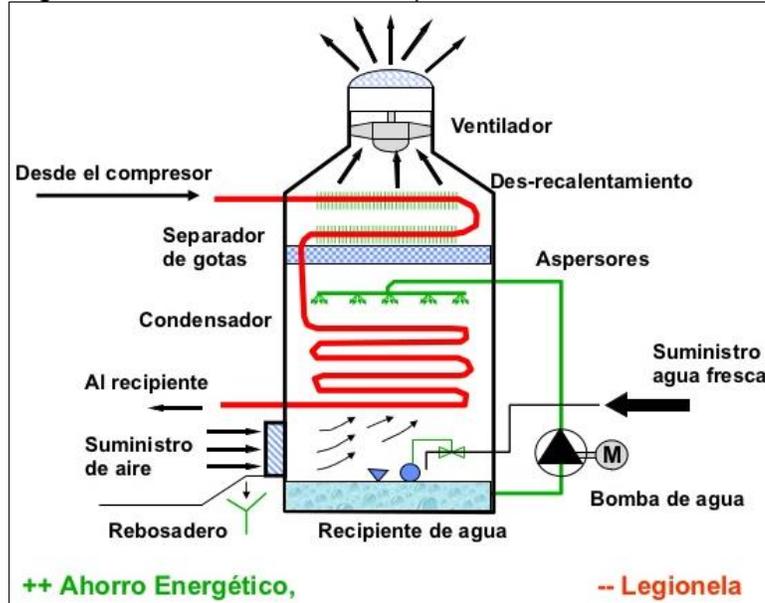


Fuente: OSPINO, Antonio. Generalidades de minichillers. [Video]. 2014. Captura de imagen en 0:52. [En línea]. Disponible en: www.youtube.com/watch?v=Q11gDe2U5W8&t=1s

Una aplicación de este sistema que utiliza agua fría para su refrigeración es el Condensador evaporativo, donde “su funcionamiento se basa en la combinación de aire y agua, a contracorriente, para efectuar la condensación”⁴¹, es decir, el refrigerante que contiene la carga térmica entra al serpentín de tubo lizo, el cual realiza el intercambio de calor entre el agua que es impulsada por una bomba hasta unos aspersores que rocían la sustancia sobre la tubería a refrigerar, y el aire del ambiente que ingresa a la unidad de condensación en dirección opuesta al flujo de agua (contracorriente).

⁴¹ FRANCO, Op. Cit. P. 87.

Figura 13. Condensador evaporativo



Fuente: GONZÁLEZ VALIENTE, Cesar. Condensadores. Valencia. ES. 2016 [En línea]. Disponible en: <https://frigoristas.wordpress.com/condensadores/>

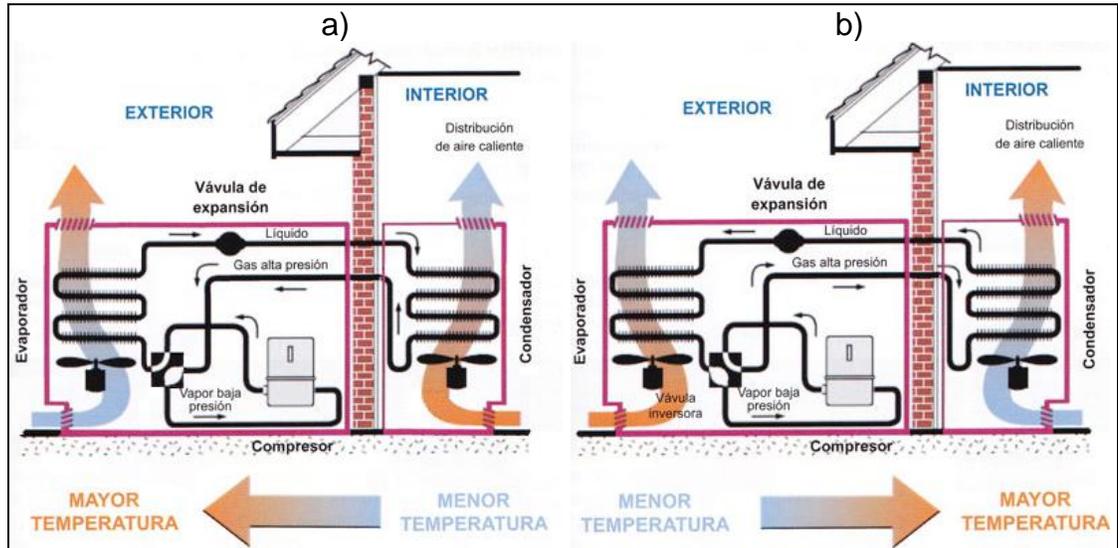
Estas unidades se clasifican como un sistema abierto, pues el agua que se rocía al serpentín es evaporada y expulsada al ambiente, por lo que es importante tener un suministro de agua que permita mantener el nivel requerido de agua para su correcto funcionamiento.

2.3.2.2 Unidades tipo Bomba de calor. Es un método para el acondicionamiento de aire basado en el ciclo de refrigeración por compresión, pero se diferencia en que el proceso puede ser reversible, es decir, es posible invertir su funcionamiento totalmente.

El sistema puede refrigerar un ambiente cuando sea requerido, absorbiendo la energía contenida en el ambiente por medio de un intercambio de calor entre el sistema y el aire a controlar, esta energía es expulsada a otro ambiente o simplemente al ambiente externo, reduciendo así la temperatura del aire interno. Pero si lo que se necesita es calentar el aire de la habitación a controlar, el sistema invierte el flujo interno del fluido, realizando un intercambio de calor con el ambiente externo absorbiendo energía para incorporarlo al ambiente almacenado en el cuarto de control para así aumentar la temperatura interna del aire.⁴²

⁴² CALOR Y FRIO. Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente. Bogotá D.C. 2015. [En Línea]. Disponible en: www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bomba-de-calor.html

Figura 14. Bomba de calor. a) Sistema de refrigeración; b) sistema de calefacción.



Fuente: CALOR Y FRIO. Funcionamiento de la bomba de calor para calefacción y agua caliente. Bogotá D.C. 2015. [En Línea]. Disponible en: www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bomba-de-calor.html

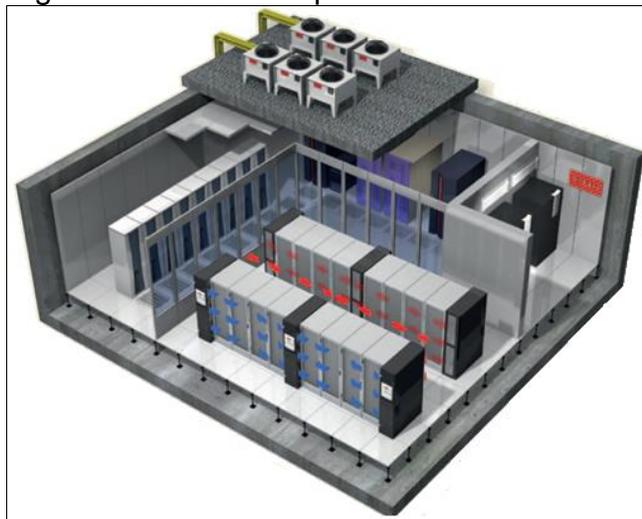
Para lograr invertir el funcionamiento del sistema, es necesaria la presencia de una válvula reversible, la cual se caracteriza por tener 4 vías de flujo, dos de entrada y dos de salida, con el fin de direccionar el flujo del sistema a través de un mecanismo de corredera activado por un solenoide eléctrico. Esta válvula es el instrumento clave para el funcionamiento de la bomba de calor, pues en la posición estándar el fluido refrigerante viaja por medio de la tubería permitiendo realizar el proceso de refrigeración del ambiente a controlar absorbiendo la energía del interior y así enviarla al exterior; al cambiar la posición de la válvula, el flujo cambia en un sector del sistema pero permite revertir el sistema, es decir, ingresar energía del ambiente exterior para poder climatizar el interior de la habitación a acondicionar. Este método se puede adecuar para cualquier sistema de climatización que requiera producir aire frío o caliente.

2.3.2.3 Unidad de Precisión. Estos sistemas de climatización son empleados generalmente en zonas donde se requieren simular o conservar ambientes que son muy estrictos en sus rangos de exactitud, especialmente con la temperatura y humedad del aire en el interior de la zona acondicionada.

La mayoría de las veces, estas unidades de climatización se utilizan en la industria electrónica debido a que los equipos “están preparados para mantener a través del control micro procesado la temperatura y la humedad óptimas requeridas para el

funcionamiento eficaz de los sistemas electrónicos⁴³, como pueden ser los sistemas de alimentación ininterrumpida (*uninterruptible power supply - UPS*), los cuales requieren estar a unas condiciones ambientales para su correcto funcionamiento, pues a una alta temperatura puede generar un recalentamiento en los sistemas electrónicos internos, si la humedad es muy alta, puede ocasionar problemas de condensación y si la humedad relativa es muy baja puede generar una corriente estática al generar contacto con cualquier objeto⁴⁴. Las unidades de precisión están ubicadas en el interior o en una zona contigua de la sala a refrigerar, con el objetivo de recircular el aire del interior y garantizando que las variables del aire siempre se encuentren a las condiciones requeridas.

Figura 15. Unidad de precisión



Fuente: DATACENTER CONSULTORES. Aire acondicionado de precisión en centros de cómputo. 2013. [En Línea]. Disponible en: www.datacenterconsultores.com/aire-acondicionado-de-precision-en-centros-de-datos

⁴³ NUNO, P; Rivas, J. P.; Ares, J. E. Climatización en los centros de proceso de datos. Madrid. ES. 2006. P. 35. [En Línea]. Disponible en: www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/76/enfoque2.pdf

⁴⁴ Ibid. P. 36.

3. INGENIERÍA DEL PROYECTO

Luego de realizar la caracterización para determinar el dimensionamiento junto con las condiciones de operación a las cuales la cámara climatizada va a trabajar y las diferentes alternativas de diseño, se procedió a realizar el diseño definitivo de los laboratorios, así:

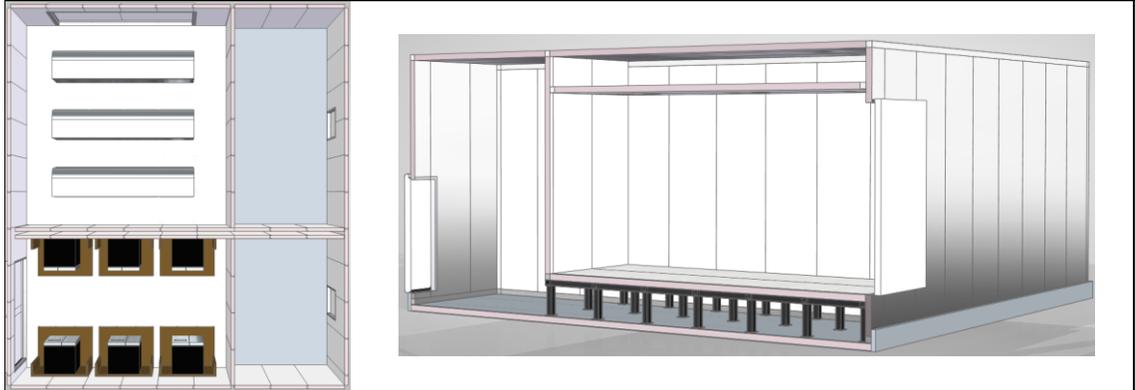
3.1 DISEÑO CONSTRUCTIVO

La construcción de la cámara climatizada se realizó según el dimensionamiento requerido y la distribución interior de los cuartos destinados a los ensayos energéticos de los equipos de refrigeración doméstica y comercial, junto con los materiales de construcción empleados para su construcción.

3.1.1 Dimensionamiento. La cámara climatizada tendrá una superficie de construcción total de 97,65 m² (10,5 m X 9,3 m), distribuida en dos espacios diferentes determinados para la evaluación de equipos de refrigeración doméstica y refrigeración comercial; debido a que las condiciones ambientales establecidas para cada ensayo son totalmente diferentes, por lo que en un solo cuarto no se pueden realizar en simultaneo las diferentes pruebas correspondientes para cada tipo de refrigeradores; la superficie establecida para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica es de 24 m² (Ancho: 4m, Largo: 6 m) con capacidad de evaluar un total de 6 equipos que requieran las mismas condiciones climáticas en su evaluación. Con respecto a los ensayos energéticos para los equipos de refrigeración comercial se destinó un área de 36 m² (Ancho: 6m, Largo: 6 m) con capacidad de evaluar 3 equipos al tiempo, tomando como referencia una vitrina horizontal como el equipo más largo con dimensiones promedio de 4 m de largo, 83 cm de ancho y 1,32 m de alto. Para las dos cámaras de ensayos se estableció una altura de 3 m para facilitar el ingreso e instalación de los productos a evaluar.

Cada una de las cámaras internas contará con su cuarto de máquinas ubicado en lado posterior con el fin de que los equipos de acondicionamiento inyecten el aire al interior del área establecida para las pruebas y ensayos energéticos. En la parte superior e inferior de los cuartos se establecerá un espacio de 50 cm de alto para facilitar la recirculación del aire en la cámara, es decir, permitir la inyección y retorno del aire a la zona exterior de acondicionamiento.

Figura 16. Dimensionamiento y capacidad de los cuartos de pruebas de la cámara climatizada.



3.1.2 Materiales de construcción. Generalmente, las cámaras frigoríficas se construyen con paneles compuestos de un aislamiento con un bajo coeficiente de conductividad térmica que garanticen la hermeticidad del ambiente controlado en su interior; por lo cual la cámara se ha diseñado con módulos desmontables debido a su bajo precio en el mercado en comparación a materiales de construcción fija y también por su facilidad en la instalación.

El panel seleccionado para la construcción de la cámara es un módulo tipo “Sándwich” compuesto por una espuma rígida de poliuretano expandido recubierta por dos chapas de acero galvanizado y pintado con pintura poliéster de color blanco, empleado especialmente en el manejo de ambientes altamente corrosivos; las dimensiones del panel son de 1 m de ancho útil por la altura definida para cada una de las paredes, techos y pisos a instalar para el armado de los cuartos de ensayos.

Cuadro 8. Características técnicas del Poliuretano expandido

Propiedades	Unidades	PIR
Densidad	kg/m ³	40
Resistencia a la compresión	kPa	200
Conductividad térmica (10°C)	W/mK	0,023

Fuente: POLIURETANOS S.A. Productos de Paneles encolados. Panel PE - PIR. Girona, España. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://poliuretanos.com/productos/paneles/pepir.html>

Para determinar el espesor adecuado para el panel de aislamiento térmico, es importante conocer el flujo de calor o la pérdida admisible que puede tener el cuarto de ensayos según su tipo o clasificación; para este caso, la cámara climatizada se clasifica como un cuarto de conservación debido a que la temperatura mínima del

ambiente interior es de 2°C, y las pérdidas máximas de calor permitidas son de 8 W/m².⁴⁵

También se debe conocer el diferencial de temperaturas a las cuales estarán sometidos los paneles de poliuretano expandido. Como la cámara está diseñada para la ciudad de Bogotá, se contemplará la temperatura media mensual histórica (T_m = 21.1°C).⁴⁶

Finalmente, para determinar el espesor del aislamiento es necesario conocer el coeficiente global de transferencia de calor por conducción del aislamiento térmico “λ” (también representado como “K” en otras literaturas) que se va a implementar descrito en el Cuadro 8; inicialmente la convección de ambientes no será contemplada. El espesor mínimo requerido se calculó por medio de la siguiente ecuación⁴⁷:

$$e = \frac{\lambda * \Delta T}{\dot{q}}$$

$$e = \frac{0,023 \text{ W/m} * \text{K} * (21,1^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C})}{8 \text{ W/m}^2} \quad e = 0,0546 \text{ m}$$

De acuerdo con lo anterior el espesor mínimo de los paneles exteriores de la cámara climatizada es de 5,46 cm. Para el caso de la pared de división entre los laboratorios de ensayos de refrigeración doméstica y comercial, el espesor requerido es:

$$e = \frac{0,023 \text{ W/m} * \text{K} * (45^{\circ}\text{C} - 2^{\circ}\text{C})}{8 \text{ W/m}^2} \quad e = 0,1236 \text{ m}$$

El espesor obtenido para las paredes de división es de 12,36 cm; este espesor es para un solo panel de Poliuretano expandido. Siendo este el caso más crítico donde se pueden presentar pérdidas por transferencia de calor entre los dos ambientes es importante reducir al máximo estas pérdidas que puedan afectar la ejecución de los ensayos energéticos; una alternativa para determinar el espesor es emplear dos paneles de aislamiento distanciados por una capa de aire en reposo (λ=0,024 W/m²K) como un segundo aislamiento; para dos paneles de poliuretano expandido de 5 cm de espesor, el espesor de la capa de aire en reposo se calculó empleando la siguiente fórmula:

⁴⁵ GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración industrial: montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas. Barcelona, ES: Cano Pina, 2012. P. 280.

⁴⁶ INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES. Tiempo y clima. Mapa Temperatura media – máxima - mínima. Bogotá. CO. [En Línea]. Disponible en: www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/seguimiento

⁴⁷ GONZÁLEZ SIERRA, Op. Cit. P. 280.

$$\begin{aligned}
Q/A &= \frac{\Delta T_{global}}{\sum R_{Térmicas}} & \rightarrow & \quad Q/A = \frac{T_2 - T_1}{\frac{\Delta x_1}{K_1} + \frac{\Delta x_2}{K_2} + \frac{\Delta x_1}{K_1}} \\
Q/A &= \frac{T_2 - T_1}{2 \frac{\Delta x_1}{K_1} + \frac{\Delta x_2}{K_2}} & \rightarrow & \quad 2 \frac{\Delta x_1}{K_1} + \frac{\Delta x_2}{K_2} = \frac{T_2 - T_1}{Q/A} \\
\frac{\Delta x_2}{K_2} &= \frac{T_2 - T_1}{Q/A} - 2 \frac{\Delta x_1}{K_1} & \rightarrow & \quad \Delta x_2 = K_2 * \left(\frac{T_2 - T_1}{Q/A} - 2 \frac{\Delta x_1}{K_1} \right) \\
\Delta x_2 &= 0,024 \text{ W/m}^\circ\text{K} * \left(\frac{45^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C}}{8 \text{ W/m}^2} - 2 \frac{0,05 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m}^\circ\text{K}} \right) & & \quad \Delta x_2 = 0,0247 \text{ m}
\end{aligned}$$

Otro método para determinar el espesor es según la capacidad de conducción de calor que tiene el aislamiento, para el caso del poliuretano expandido con una densidad de 40 kg/m^3 , el espesor se puede seleccionar según su coeficiente de conducción descrito en la Tabla 2.

Tabla 2. Espesor del aislamiento térmico según el coeficiente de transmisión térmica.

Espesor de panel	COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN	
	kcal / h m ² °C	W / m ² °C
60 mm	0,28	0,033
80 mm	0,23	0,027
100 mm	0,18	0,021
125 mm	0,15	0,017
150 mm	0,12	0,014
175 mm	0,10	0,012
200 mm	0,09	0,011

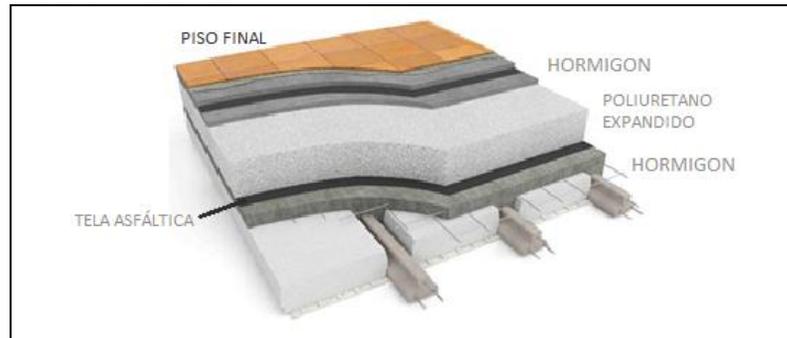
Fuente: BALBOA, JOAN. Manual de instalaciones frigoríficas (4a. ed.). Barcelona, ES: Editorial Cano Pina, 2012. P 200. Modificada por el autor.

De acuerdo con lo anterior, el espesor más adecuado para los paneles de aislamiento térmico para las paredes y techos es de 10 cm (4" medida comercial).

3.1.3 Pisos. El piso de la cámara general como el de cada uno de los cuartos de pruebas deben estar aislados y debidamente reforzados para soportar el peso total de todos los equipos que van a estar sometidos a evaluación en el interior de ambos cuartos de pruebas, por lo que se debe elegir una espuma aislante con una alta resistencia a la compresión.

Para el actual proyecto se seleccionó el mismo material (poliuretano expandido) debido a su alta resistencia a la compresión, aunque este aislante debe estar reforzado con hormigón para garantizar la resistencia respecto a las cargas a las cuales estará sometido el piso.

Figura 17. Composición y aislamiento del suelo de la cámara climatizada

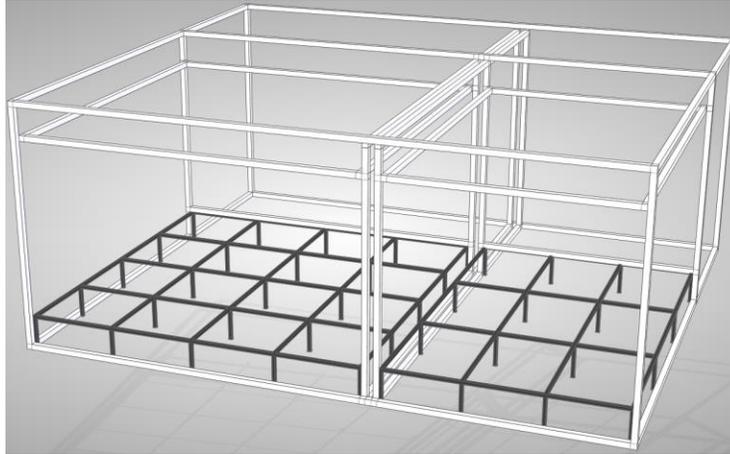


Fuente: INFONEGOCIOS. Infoarquitectura. Además de aislantes, livianos. Argentina. 2013. Modificada por el autor. [En línea]. Disponible en: <http://infonegocios.info/infoarquitectura/ademas-de-aislantes-livianos>

3.1.4 Estructuras. La estructura de la cámara debe estar diseñada para soportar el peso total de los equipos que se van a evaluar en su interior, por lo que es necesario realizar el cálculo para determinar el perfil indicado para cada cuarto de pruebas.

La estructura que soporta la cabina interior debe tener el mismo dimensionamiento que el área de cada sala, es decir que la estructura para el cuarto de pruebas destinado a los sistemas de refrigeración doméstica es de 4m X 6,1m, mientras que la estructura destinada para la cabina de ensayos para sistemas de refrigeración comercial será de 6m X 6,1m. Ambas estructuras tendrán una altura de 60 cm sobre el piso general de la cámara. En la *Figura 18* se puede apreciar la estructura negra para soportar las cabinas internas, y la estructura blanca para soportar los paneles de aislamiento.

Figura 18. Estructura de construcción de la cámara climatizada



La estructura de refrigeración doméstica debe estar diseñada para soportar el peso de 6 neveras (Peso Máximo por nevera = 114,7 Kg); la distribución de los equipos en el interior del cuarto de ensayos se puede ver en la *Figura 19*.

Figura 19. Distribución equipos de refrigeración doméstica

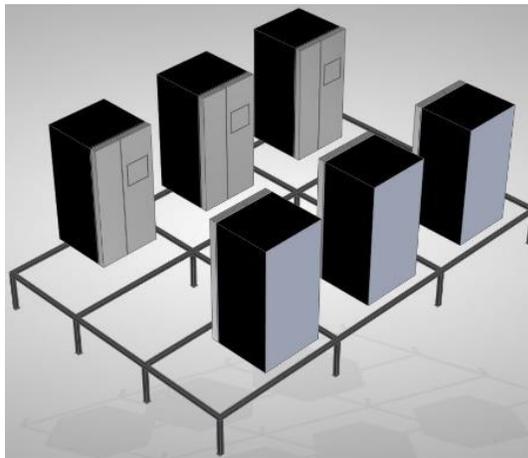
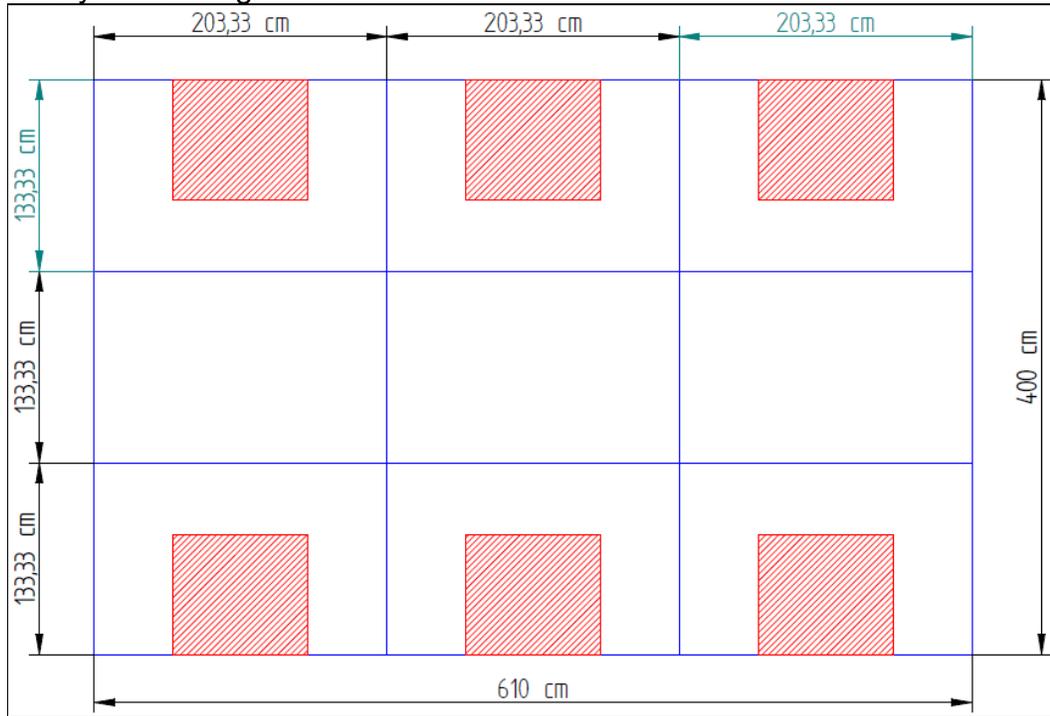


Figura 20. Cargas y dimensionamiento de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica



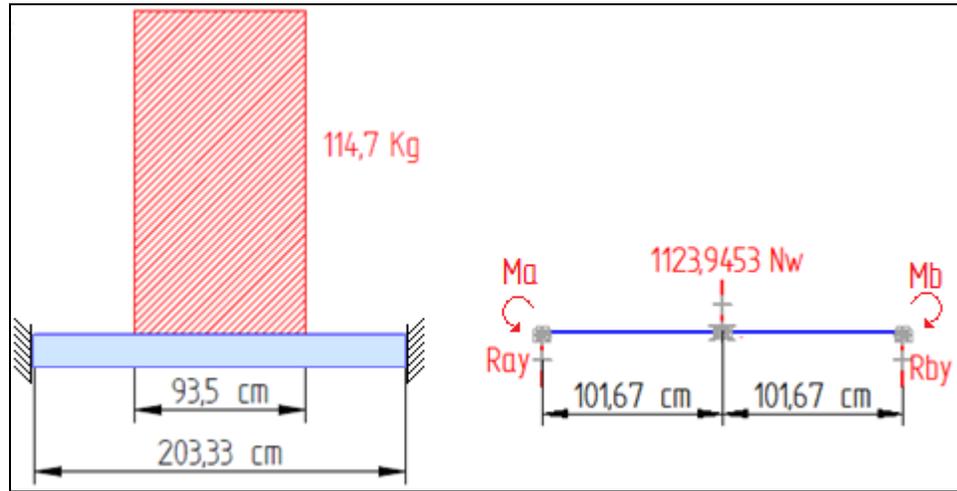
Debido a que los casos críticos se encuentran en las vigas de 2,0333 m de largo, las cuales soportan toda la carga de las neveras, estas serán estudiadas para determinar el perfil adecuado de la estructura; para ello se tomará el peso de una nevera ubicada sobre la mitad de la viga, esta se encuentra empotrada en los extremos. La carga de la nevera doméstica se determina empleando la segunda ley de Newton, donde la masa del objeto se multiplica por la gravedad del lugar en que se encuentra, para este caso es la gravedad a la altura de Bogotá; siendo el valor de esta carga de:

$$F = m * g \rightarrow F = 114,7 \text{ Kg} * 9,799 \text{ m/s}^2 \quad F = 1123,9453 \text{ N}$$

$$F_{Distribuida} = \frac{F}{l} \rightarrow F_D = \frac{1123,9453 \text{ N}}{0,935 \text{ m}} \quad F_D = 1202,0805 \text{ N/m}$$

Con la información descrita, se procedió a realizar el diagrama de cuerpo libre ilustrado en la *Figura 21* junto con la sumatoria de fuerzas y momento en los puntos de apoyo para determinar las fuerzas de reacción, así:

Figura 21. Esquema y diagrama de cuerpo libre para la viga soporte de una nevera doméstica



$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - 1123,9453 \text{ N} + R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} = 1123,9453 \text{ N} - R_{By}$$

Donde $R_{Ay} = R_{By}$,

$$R_{Ay} = 1123,9453 \text{ N} - R_{Ay}$$

$$2R_{Ay} = 1123,9453 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = \frac{1123,9453 \text{ N}}{2}$$

$$R_{Ay} = R_{By} = 561,97265$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - M_B - (1123,9453 \text{ N} * 1,0167 \text{ m}) + (R_{By} * 2,0333 \text{ m}) = 0$$

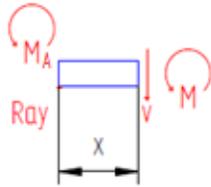
$$M_A - M_B - 1142,7152 \text{ Nm} + (2,0333 \text{ m} * 561,97265 \text{ N}) = 0$$

$$M_A - M_B - 1142,7152 \text{ N} + 1142,65899 \text{ Nm} = 0$$

$$M_A - M_B = 0$$

Al realizar el desarrollo de las ecuaciones de equilibrio de la viga en estudio, se determinó que es una viga estáticamente indeterminada. Para conocer las fuerzas de reacción en los apoyos de la viga y los momentos presentes en los empotramientos, se empleó el método de la doble integración, así:

Sección AC ($0 \leq x \leq 0,5492 \text{ m}$)

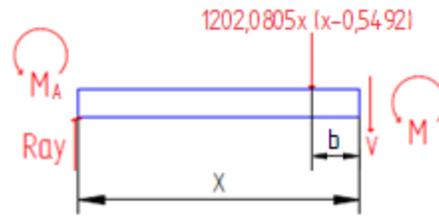
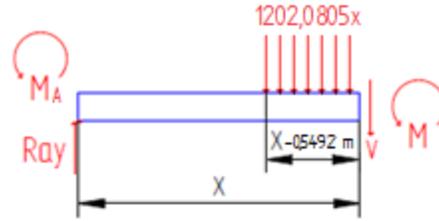


$$\sum M_{corte} = 0$$

$$-(R_{Ay} * x) + M + M_A = 0$$

$$M = R_{Ay}x - M_A$$

Sección AD ($0,5492 \text{ m} \leq x \leq 1,4842 \text{ m}$)



$$\sum M_{corte} = 0$$

$$M + M_A - (561,97265 * X) + \left[1202,2805X(X - 0,5492) \left(\frac{X - 0,5492}{2} \right) \right] = 0$$

$$M + M_A - 561,97265X + 601,04025(X - 0,5492)^2 = 0$$

$$M = 561,97265X - 601,04025(X - 0,5492)^2 - M_A$$

$$E.I. \frac{d^2y}{dx^2} = M(x)$$

$$E.I. \frac{d^2y}{dx^2} = 561,97265X - M_A$$

$$E.I. \frac{d^2y}{dx^2} = -601,04025(X - 0,5492)^2 + 561,97265X - M_A$$

$$E.I. \frac{dy}{dx} = 280,986325X^2 - M_A X + C_1$$

$$E.I. \frac{dy}{dx} = -200,34675(X - 0,5492)^3 + 280,986325X^2 - M_A X + C_3$$

$$E.I. y = 93,6621X^3 - \frac{M_A X^2}{2} + C_1 X + C_2$$

$$E.I. y = -50,08669(X - 0,5492)^4 + 93,66211X^3 - \frac{M_A X^2}{2} + C_3 X + C_4$$

Condiciones de Frontera:

1. Cuando $x = 0$; La pendiente $\frac{dy}{dx} = 0$

$$E.I. 0 = 280,986325(0)^2 - M_A(0) + C_1$$

$$0 = C_1$$

2. Cuando $x = 0$; La deflexión $Y = 0$

$$E.I. 0 = 93,6621(0)^3 - \frac{M_A(0)^2}{2} + C_1(0) + C_2$$

$$0 = C_2$$

3. Principio de continuidad: cuando $x = 0,5492 \text{ m}$; $\frac{dy}{dx_{\text{Sección AC}}} = \frac{dy}{dx_{\text{Sección AD}}}$

$$280,986325X^2 - M_A X = -200,34675(X - 0,5492)^3 + 280,986325X^2 - M_A X + C_3$$

$$0 = -200,34675(X - 0,5492)^3 + C_3$$

$$0 = -200,34675(0,5492 - 0,5492)^3 + C_3$$

$$0 = C_3$$

4. Principio de continuidad: cuando $x = 0,5492 \text{ m}$; $Y_{\text{Sección AC}} = Y_{\text{Sección AD}}$

$$93,66211X^3 - \frac{M_A X^2}{2} = -50,08669(X - 0,5492)^4 + 93,66211X^3 - \frac{M_A X^2}{2} + C_3 X + C_4$$

$$0 = -50,08669(X - 0,5492)^4 + C_4$$

$$0 = -50,08669(0,5492 - 0,5492)^4 + C_4$$

$$0 = C_4$$

5. Deflexión Máx. cuando $x = 1,0167 \text{ m}$; ; La pendiente $\frac{dy}{dx} = 0$

$$E.I. \frac{dy}{dx} = -200,34675(X - 0,5492)^3 + 280,986325X^2 - M_A X$$

$$E.I. \cdot 0 = -200,34675(1,0167 - 0,5492)^3 + 280,986325(1,0167)^2 - M_A(1,0167)$$

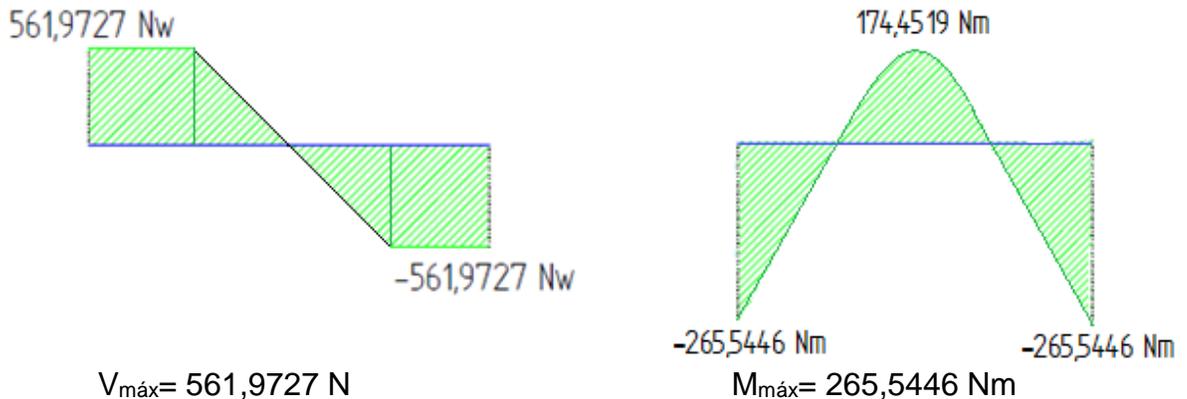
$$0 = -200,34675(0,4675)^3 + 280,986325(1,03368) - M_A(1,0167)$$

$$0 = -200,34675(0,102175) + 280,986325(1,03368) - M_A(1,0167)$$

$$M_A(1,0167) = -20,47043 + 290,44963$$

$$M_A = \frac{269,9792}{1,0167}$$

$$M_A = M_B = 265,5446 \text{ Nm}$$



El resultado obtenido con respecto a la fuerza cortante máxima es de 561,9727 N con un momento flector máximo de 265,5446 Nm; con los valores anteriores se calculó el módulo elástico de la sección a través de la siguiente ecuación:⁴⁸

⁴⁸ BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, E. Russell, Y DEWOLF, John T. Mecánica de materiales (5a. ed.). Distrito Federal, MX: McGraw-Hill Interamericana, 2010. P. 310.

$$M = S * \sigma \quad \rightarrow \quad S = \frac{M}{\sigma}$$

Siendo M el momento flector máximo y σ el esfuerzo normal del material; para la construcción de las estructuras en estudio se utilizó el acero estructural ASTM A36; en la *Tabla 3* se describen las propiedades mecánicas de este material.

Tabla 3. Propiedades mecánicas del acero estructural ASTM A36

PROPIEDADES MECÁNICAS		
Esfuerzo Límite de Fluencia	Esfuerzo Límite de Tracción	Elongación mínima
250 Mpa	400 Mpa	20 %
25,5 Kg/mm ²	40,8 Kg/mm ²	
36000 lb/in ²	58000 lb/in ²	

Fuente: GAMONAL RUÍZ, Walter. Uso de las normas ASTM en Corporación aceros Arequipa S.A. [Diapositivas]. Arequipa, PE. [En Línea]. Disponible en: www.astm.org/GLOBAL/docs/Presentacion-Walter-Gamonal-Ruiz.pdf. Modificada por el autor.

Empleando el valor del esfuerzo de fluencia límite del material, se calculó el módulo elástico de la sección transversal así:

$$S = \frac{M}{\sigma} \quad \rightarrow \quad S = \frac{265,5446 \text{ Nm}}{250 \text{ Mpa}} = \frac{265,5446 \text{ Nm}}{2,5 \times 10^8 \text{ Pa}} \quad \begin{matrix} S = 1,0622 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \\ S = 1,0622 \text{ cm}^3 \end{matrix}$$

Según el catalogo del acero estructural ASTM A36 del *Anexo E – Catálogos*; uno de los perfiles que cumple con este módulo elástico es el perfil cuadrado de 25X25 mm con 2,5 mm de espesor ($S=1,35 \text{ cm}^3$).

La estructura de refrigeración comercial debe estar diseñada para soportar el peso de 3 neveras (Peso Máximo por nevera = 750 Kg); la distribución de los equipos en el interior del cuarto de ensayos se puede ver en la *Figura 22*.

Figura 22. Distribución equipos de refrigeración Comercial

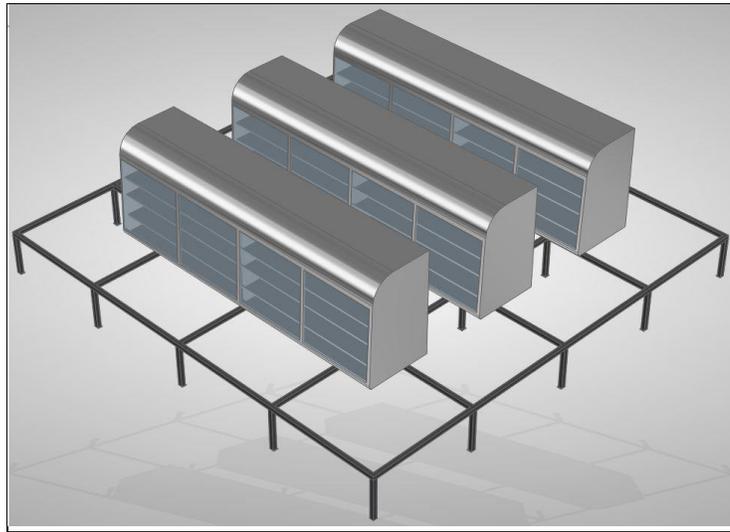
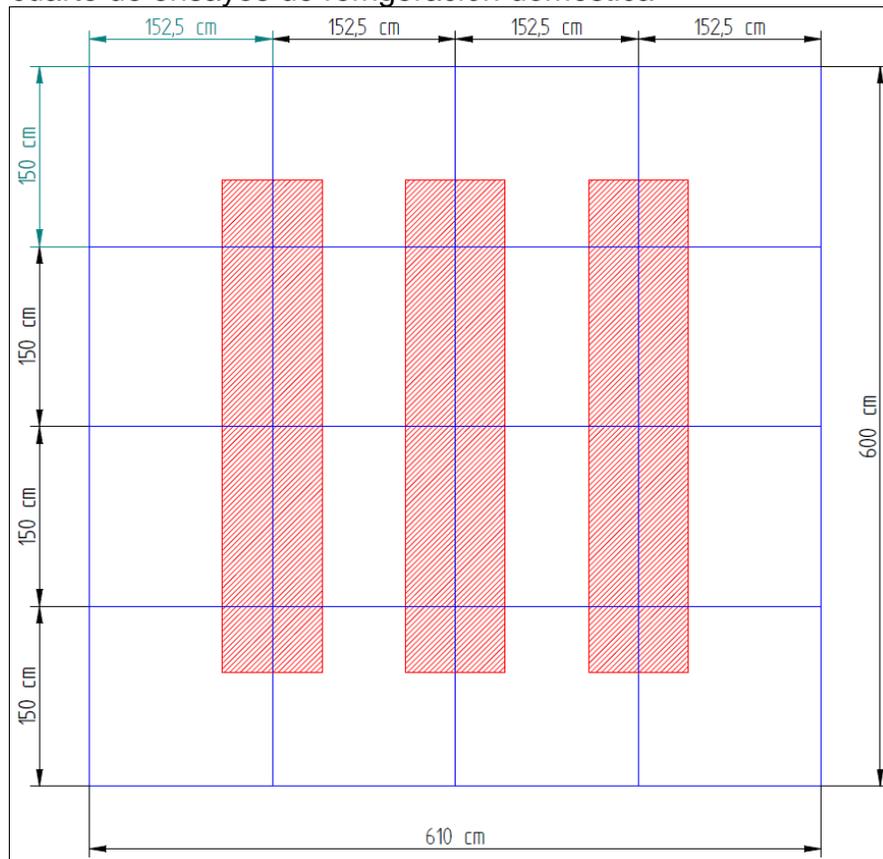


Figura 23. Cargas y dimensionamiento de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica



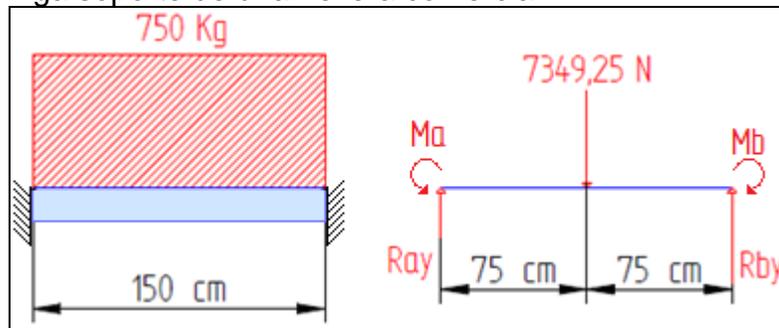
Debido a que los casos críticos se encuentran en las vigas centrales de 1,5 m que soportan la carga de las vitrinas comerciales, esta sección será estudiada para determinar el perfil adecuado de la estructura; para ello se tomará el peso de una sola nevera ubicada sobre la mitad de la viga, esta se encuentra empotrada en los extremos. La carga de la vitrina comercial se determina empleando la ecuación de la segunda ley de Newton empleada en el estudio de la estructura del cuarto de Refrigeración Comercial; esta carga se determinó así:

$$F = m * g \rightarrow F = 750 \text{ Kg} * 9,799 \text{ m/s}^2 \quad F = 7349,25 \text{ N}$$

$$F_{Distribuida} = \frac{F}{l} \rightarrow F_D = \frac{7349,25 \text{ N}}{1,5 \text{ m}} \quad F_D = 4899,5 \text{ N/m}$$

Con la información descrita, se procedió a realizar el diagrama de cuerpo libre ilustrado en la *Figura 24* junto con la sumatoria de fuerzas y momento en los puntos de apoyo para determinar las fuerzas de reacción, así:

Figura 24. Esquema y diagrama de cuerpo libre para la viga soporte de una nevera comercial



$$+\uparrow \sum F_y = 0$$

$$R_{Ay} - 7349,25 \text{ N} + R_{By} = 0$$

$$R_{Ay} = 7349,25 \text{ N} - R_{By}$$

$$\text{Donde } R_{Ay} = R_{By}$$

$$R_{Ay} = 7349,25 \text{ N} - R_{Ay}$$

$$2R_{Ay} = 7349,25 \text{ N}$$

$$R_{Ay} = \frac{7349,25 \text{ N}}{2}$$

$$R_{Ay} = R_{By} = 3674,625 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$M_A - M_B - (7349,25 \text{ N} * 0,75\text{m}) + (R_{By} * 1,5 \text{ m}) = 0$$

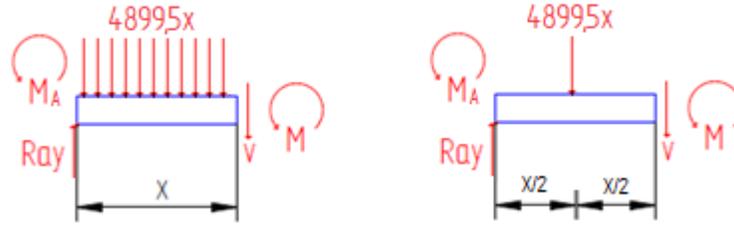
$$M_A - M_B - 5511,9375 \text{ Nm} + (3674,625 \text{ N} * 1,5\text{m}) = 0$$

$$M_A - M_B - 5511,9375 \text{ Nm} + 5511,9375 \text{ Nm} = 0$$

$$M_A - M_B = 0$$

Al realizar el desarrollo de las ecuaciones de equilibrio de la viga en estudio, se determinó que es una viga estáticamente indeterminada. Para conocer las fuerzas de reacción en los apoyos de la viga y los momentos presentes en los empotramientos, se empleó el método de la doble integración, así:

Sección AC ($0 \leq x \leq 150$ cm)



$$\sum M_{corte} = 0$$

$$M + M_A - (3674,625 * X) + (4899,5X * X/2) = 0$$

$$M + M_A - 3674,625X + 2449,75X^2 = 0$$

$$M = -M_A + 3674,625X - 2449,75X^2$$

$$E.I. \frac{d^2y}{dx^2} = M(x)$$

$$E.I. \frac{d^2y}{dx^2} = -M_A + 3674,625X - 2449,75X^2$$

$$E.I. \frac{dy}{dx} = -M_A X + 1837,3125X^2 - 816,5833X^3 + C_1$$

$$E.I. y = -\frac{M_A X^2}{2} + 612,4375X^3 - 204,14583X^4 + C_1 X + C_2$$

Condiciones de Frontera:

1. Cuando $x = 0$; La pendiente $\frac{dy}{dx} = 0$

$$E.I. 0 = -M_A(0) + 1837,3125(0)^2 - 816,5833(0)^3 + C_1$$

$$0 = C_1$$

2. Cuando $x = 0$; La deflexión $Y = 0$

$$E.I. 0 = -\frac{M_A(0)^2}{2} + 612,4375(0)^3 - 204,14583(0)^4 + C_1(0) + C_2$$

$$0 = C_2$$

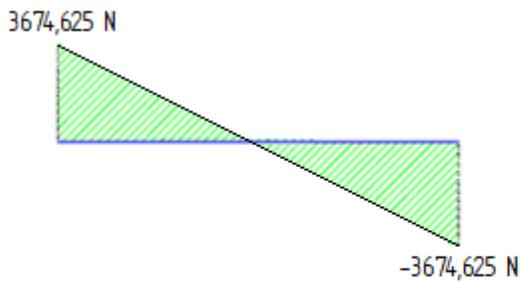
3. Cuando $x = 1,5$; La deflexión $Y = 0$

$$E.I. 0 = -\frac{M_A(1,5)^2}{2} + 612,4375(1,5)^3 - 204,14583(1,5)^4$$

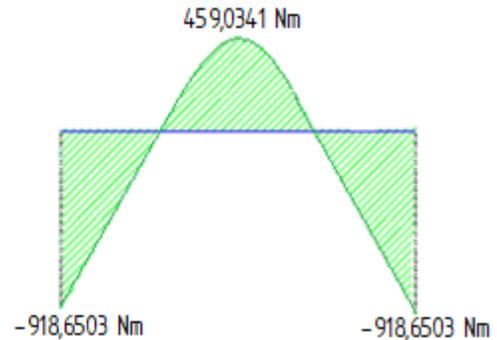
$$0 = -\frac{9M_A}{8} + (612,4375 * 3,375) - (204,14583 * 5,0625)$$

$$\frac{9M_A}{8} = 2066,969813 - 1033,488264$$

$$M_A = \frac{8 * 1033,481549}{9} \rightarrow M_A = M_B = 918,6503 \text{ Nm}$$



$$V_{\text{máx}} = 3674,625 \text{ N}$$



$$M_{\text{máx}} = 918,6503 \text{ Nm}$$

El resultado obtenido con respecto a la fuerza cortante máxima es de 3674,625 N con un momento flector máximo de 2755,9688 Nm; con los valores anteriores se calculó el módulo elástico de la sección así:

$$S = \frac{M}{\sigma} \rightarrow S = \frac{918,6503 \text{ Nm}}{250 \text{ Mpa}} = \frac{918,6503 \text{ Nm}}{2,5 \times 10^8 \text{ Pa}} \quad \begin{array}{l} S = 3,6746 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \\ S = 3,6746 \text{ cm}^3 \end{array}$$

Según el catalogo del acero estructural ASTM A36 del *Anexo E – Catálogos*, uno de los perfiles que cumple con este módulo elástico es el perfil cuadrado de 40X40 mm con 2,5 mm de espesor ($S=4,11 \text{ cm}^3$).

De acuerdo con los cálculos anteriores, el perfil inicial seleccionado para el armado de las estructuras para cada uno de los cuartos de ensayos es de 60x60 mm y 3 mm de espesor. Con estas medidas se realizó una evaluación de las estructuras completas por el método de elementos finitos con la ayuda del software SIEMENS NX 9.0.

Para la simulación se modelaron las estructuras con el perfil seleccionado anteriormente, se realizó un enmallado tetraédrico de 20 mm en toda la superficie de la estructura, se aplicó una restricción fija a cada una de las columnas que soportan la estructura y finalmente se ubicaron las cargas distribuidas de cada uno de los equipos a ensayar según su ubicación.

Figura 25. Ubicación de las cargas y restricciones presentes en la estructura para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración doméstica

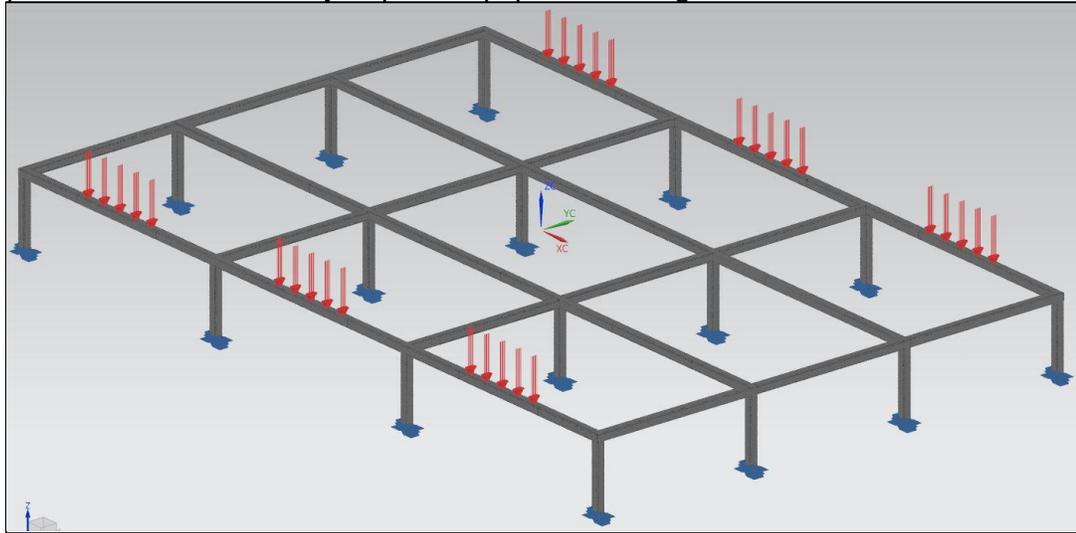
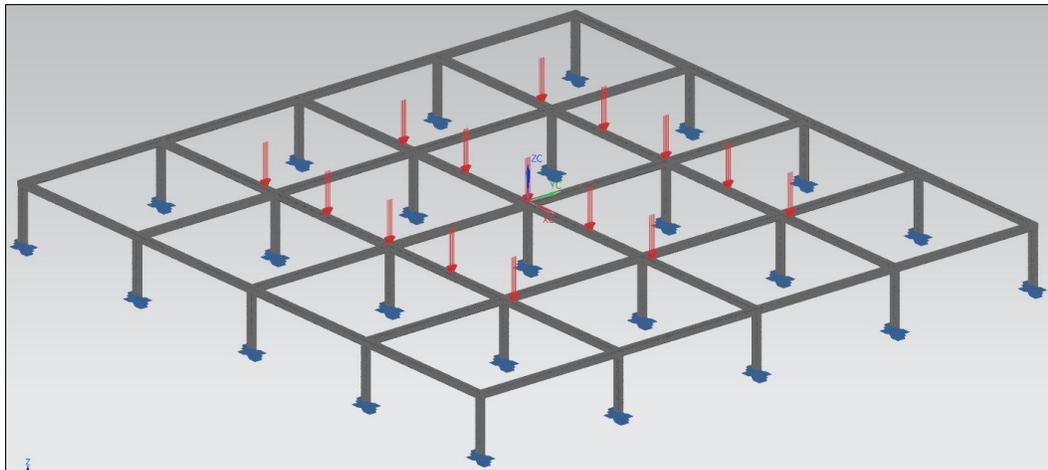
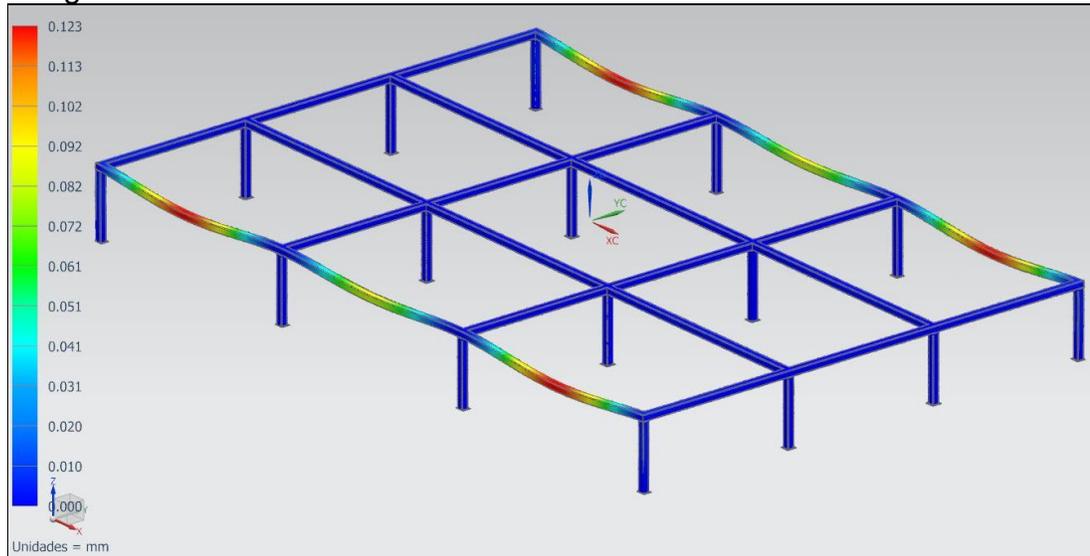


Figura 26. Ubicación de las cargas y restricciones presentes en la estructura para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración comercial



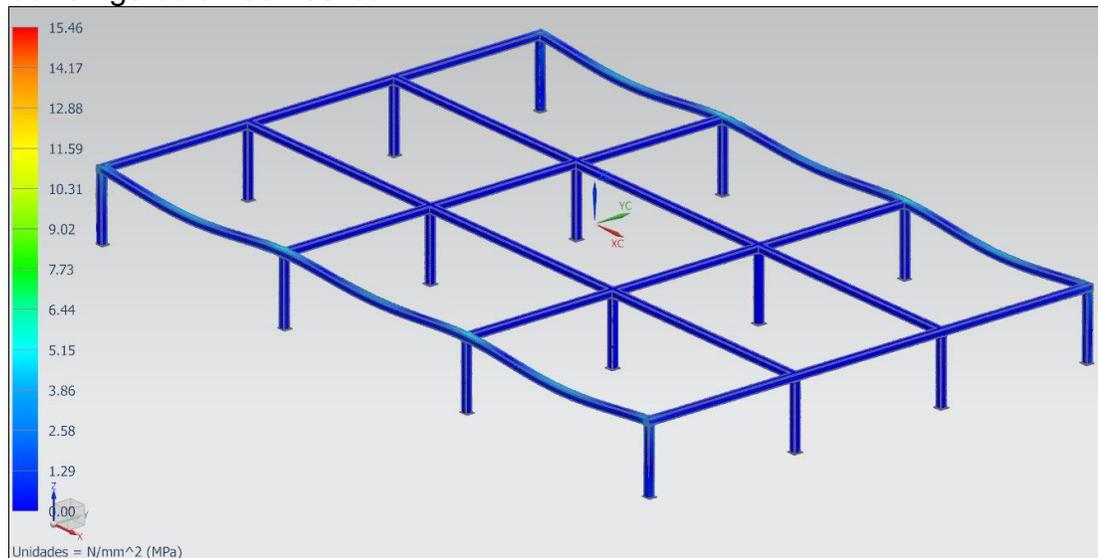
Los resultados de la simulación para la estructura destinada al cuarto de refrigeración doméstica se observan en la *Figura 27*, en la cual se determinó una deformación máxima de 0,123 mm presente en la mitad de las vigas sometidas al peso de los electrodomésticos.

Figura 27. Deformación de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica



De la misma manera se determinó que el esfuerzo máximo al que estará sometida la estructura es de 15,46 MPa, la cual se localiza en las uniones entre las vigas y las columnas de soporte; también se aprecia un esfuerzo alrededor de 4 MPa en la mitad de las vigas donde se encuentran las cargas de los equipos a evaluar. En la *Figura 28* se puede observar el diagrama donde se localizan los esfuerzos máximos.

Figura 28. Esfuerzo elemental nodal de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica



Teniendo en cuenta el esfuerzo máximo a la cual estará sometida la estructura, es importante calcular el factor de seguridad de la estructura, pues es “una manera de especificar la carga permisible para el diseño o análisis de un miembro”⁴⁹, Este factor se define por la siguiente ecuación:⁵⁰

$$F.S. = \frac{\sigma_{Falla}}{\sigma_{Perm}}$$

Siendo σ_{Falla} el esfuerzo máximo que puede soportar el material estructural, y σ_{Perm} el esfuerzo máximo presente en el diseño; el factor de seguridad se determinó de la siguiente forma:

$$F.S. = \frac{\sigma_{Falla}}{\sigma_{Perm}} \rightarrow F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{15,46 \text{ MPa}} \quad F.S. = 16,1707$$

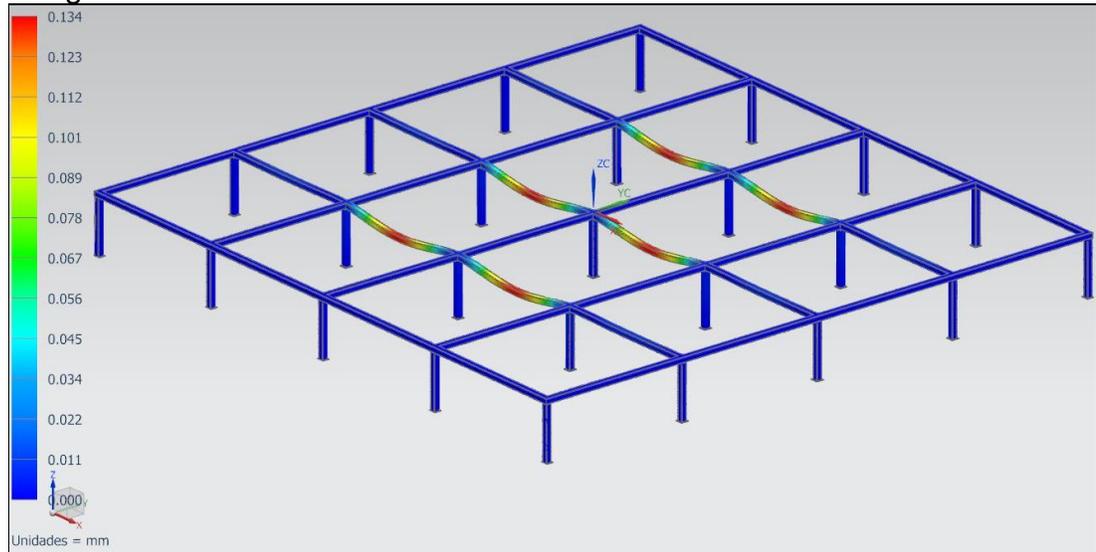
El factor de seguridad obtenido para la estructura del cuarto de refrigeración doméstica es de 16,1707; para tener un factor de Seguridad de 2, la estructura debe soportar un esfuerzo máximo de 125 Mpa.

Con respecto a la estructura diseñada para la cabina de refrigeración comercial, los resultados en la simulación se pueden apreciar en la Figura 29, en la cual se determinó una deformación máxima de 0,134 mm presente en la mitad de las vigas sometidas al peso de los electrodomésticos.

⁴⁹ HIBBELER, R.C. *Mécanica de materiales*. (6a. ed.). Distrito Federal, MX: Pearson Educación, 2006. P. 310. P. 49.

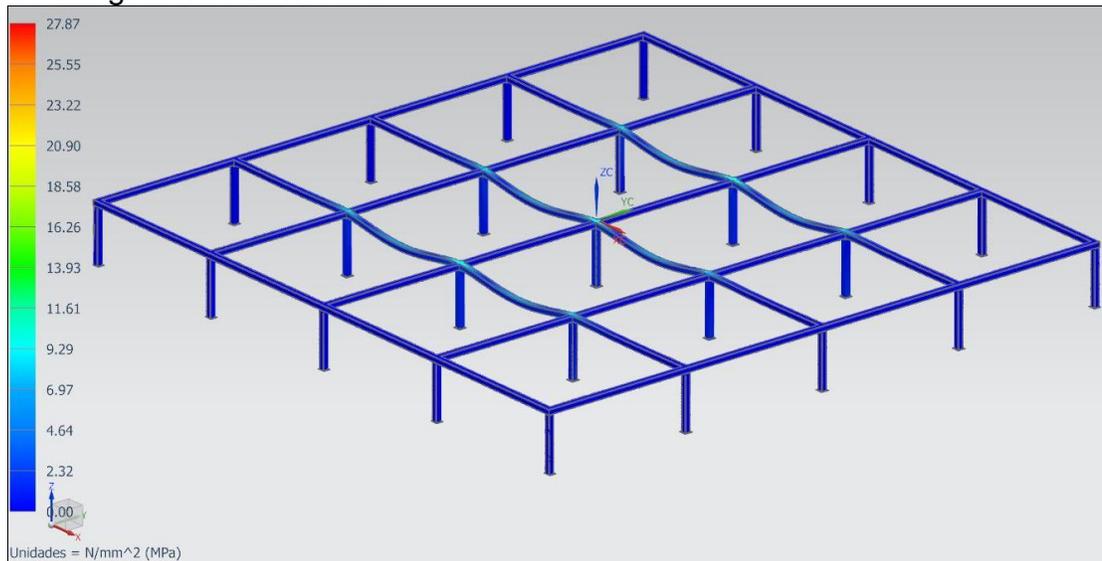
⁵⁰ *Ibid.* P. 49.

Figura 29. Deformación de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial



En la Figura 30 se puede apreciar el diagrama donde se localizan los esfuerzos máximos en la estructura en estudio, en donde se evidenció que el esfuerzo máximo presente en está es de 27,87 MPa, la cual se localiza en las uniones entre las vigas y las columnas de soporte. El factor de seguridad de la estructura es de:

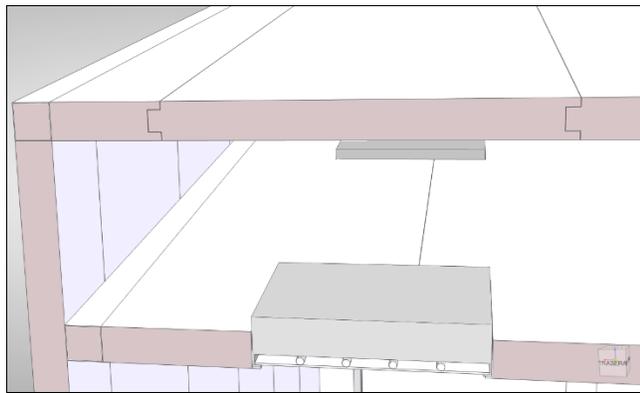
Figura 30. Esfuerzo elemental nodal de la estructura para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica



$$F.S. = \frac{\sigma_{Falla}}{\sigma_{Perm}} \rightarrow F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{27,87 \text{ MPa}} \quad F.S. = 8,9702$$

3.1.5 Paredes y techos. Para el montaje de las paredes y los techos se deben colocar unos perfiles cuadrados generalmente elaborados con el mismo material empleado para el aislamiento de los cuartos fríos, con el objetivo de soportar los paneles de las paredes y techos en la estructura; estos paneles se unen entre sí a través de un sistema de rompecabezas donde tienen una determinada forma que encajan entre ellos, también se emplean diferentes elementos roscados de fijación ubicados internamente que permiten una mejor fijación entre los módulos de aislamiento tipo “Sándwich”.

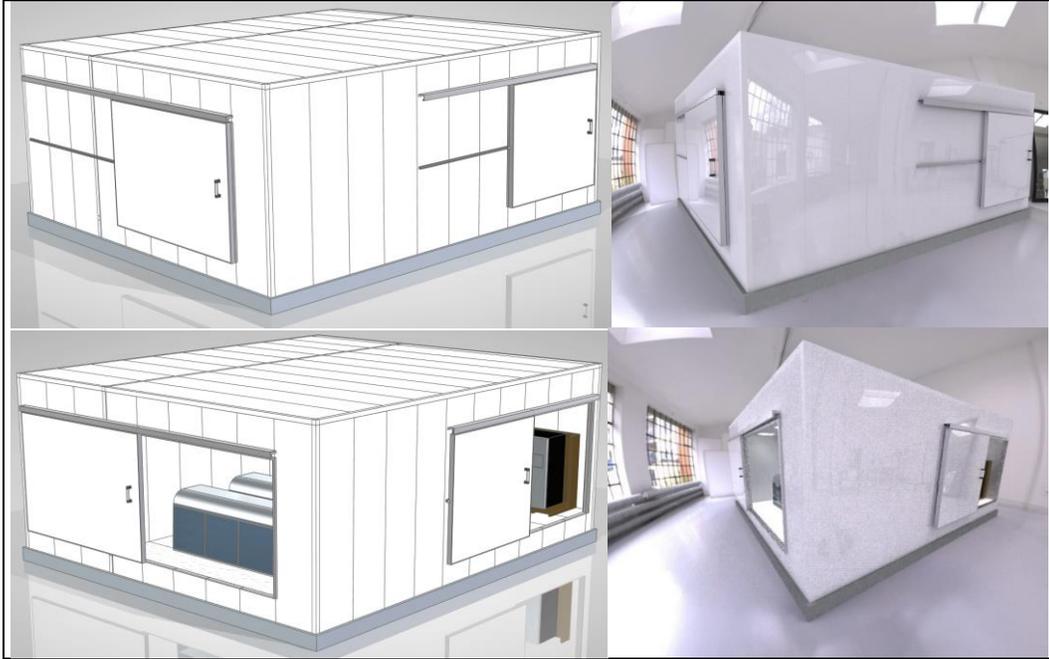
Figura 31. Sistema de armado y unión entre los paneles de aislamiento y la estructura de la cámara.



3.1.6 Puertas. Las puertas de ingreso y acceso al interior de la cámara deben estar totalmente aisladas para evitar pérdidas de calor con el ambiente del exterior, este sistema debe tener un tamaño adecuado para facilitar el ingreso de los equipos al interior de cada uno de los cuartos de pruebas; el sistema de cierre y ajuste de la puerta debe garantizar la hermeticidad y conservación de los ambientes que se simulen en el interior de los cuartos de pruebas, evitando en lo posible la infiltración del aire exterior.

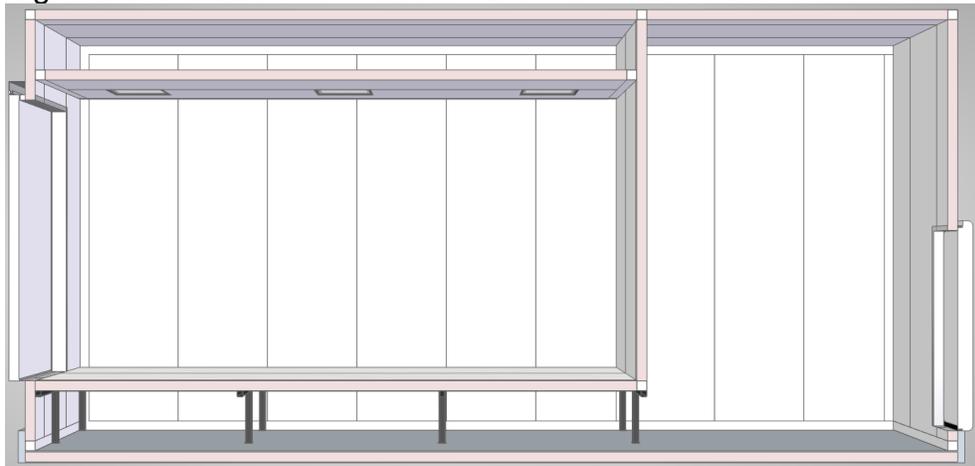
Para el proyecto se seleccionó un sistema de puertas deslizantes o de corredera con el objetivo de no reducir o limitar el espacio interior o exterior de los cuartos de ensayos; pues en el caso de las puertas pivotantes, estas interfieren en la instalación de los equipos a ensayar para la apertura o cierre de la mismas. El tamaño de la puerta para el cuarto de refrigeración doméstica es de 2,8 m altura por 3 m de ancho; mientras que para el cuarto de refrigeración comercial es de 2,8 m de altura por 4 m de ancho; cada puerta tiene un espesor de 100 mm. La instalación y operación de las puertas se encuentra detallada en la *Figura 32*.

Figura 32. Sistema de apertura y cierre de puertas deslizantes para los cuartos de ensayos de la cámara climatizada.



3.1.7 Construcción. Para la construcción del cuarto de pruebas debe adecuarse el piso donde se edificará la cámara climatizada, con un plafón de 60 cm de por debajo de la cabina de ensayos con el objetivo de permitir la salida y recirculación del aire. Inicialmente se debe instalar la estructura en el espacio destinado, posteriormente se instalan los paneles tipo "Sándwich" con el panel de fijación que los soporta, para finalmente instalar las puertas de ingreso a la cabina de ensayos y al cuarto de máquinas.

Figura 33. Instalación de la cámara climatizada.



3.2 CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA PARA LA CÁMARA CLIMATIZADA

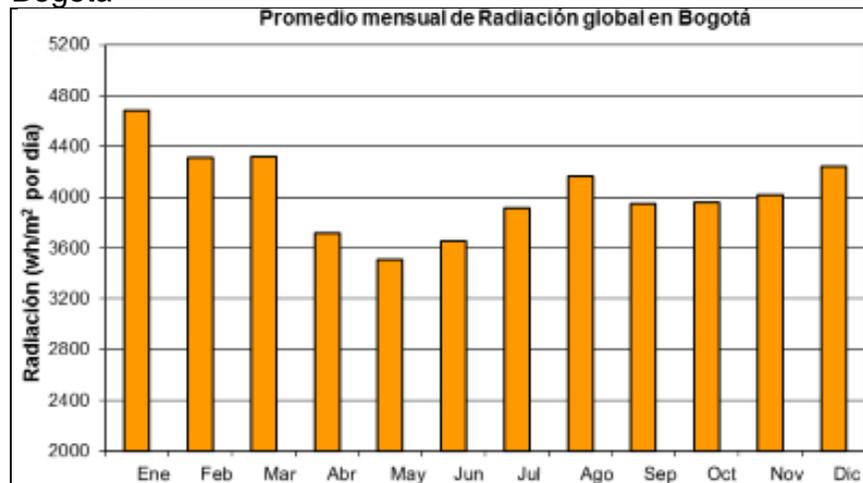
Para realizar una selección adecuada de los sistemas para el acondicionamiento de aire es necesario realizar un cálculo previo de las cargas térmicas a las cuales la cámara de ambiente controlado estará sometida, teniendo en cuenta los diferentes factores que puedan interferir con el ambiente interior a controlar para la correcta ejecución de las diferentes pruebas o ensayos establecidos. El análisis respecto a la carga térmica de la cámara se realizará para cada uno de los cuartos establecidos para las diferentes pruebas y ensayos energéticos, teniendo en cuenta las condiciones críticas a las cuales la cámara estará sometida.

La ubicación geográfica exacta de la cámara climatizada no se encuentra definida actualmente, por tal motivo los presentes cálculos se realizarán a través de datos históricos generales para la ciudad de Bogotá D.C.

3.2.1 Carga térmica para la refrigeración de los ambientes controlados.

3.2.1.1 Carga sensible por radiación a través de los techos. Para determinar las ganancias térmicas a través de la radiación solar se tomaron como referencia los datos históricos presentes en Bogotá, tomando como referencia la radiación solar del mes más cálido, Siendo enero es el mes más cálido con una radiación solar histórica de 4700 Wh/m² por día (195,83 W/m²).

Gráfica 6. Promedio mensual de la radiación solar histórica de Bogotá



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia. Bogotá D.C. CO. 2017. [En línea]. Disponible en: atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

De igual manera se debe tener en cuenta la superficie expuesta a radiación, en este caso se analizaron las superficies de los techos del cuarto de refrigeración doméstica y refrigeración comercial calculadas así:

$$S_{Techos} = Ancho * Largo$$

$$S_{Ref.Doméstica} = 4,2 m * 9,3 m$$

$$S_{Ref.Doméstica} = 39,06 m^2$$

$$S_{Ref.Comercial} = 6,2 m * 9,3 m$$

$$S_{Ref.Comercial} = 57,66 m^2$$

Finalmente se tomaron los factores de absorptividad solar “ α_s ” y emisividad “ ϵ ” que tiene el material expuesto al sol, en este caso sería el acabado de pintura de poliéster blanco para los módulos tipo “Sándwich” del poliuretano expandido, teniendo valores de 0,14 y 0,93 respectivamente a una temperatura de 25°C.

Tabla 4. Factores de absorptividad solar y emisividad de los materiales

COMPARACIÓN DE LA ABSORTIVIDAD SOLAR α DE ALGUNAS SUPERFICIES CON SU EMISIVIDAD ϵ A LA TEMPERATURA AMBIENTE					
SUPERFICIE	α	ϵ	SUPERFICIE	α	ϵ
Aluminio			Metales Plateados		
Pulido	0,09	0,03	Óxido negro de Niquel	0,92	0,08
Anodizado	0,14	0,84	Cromo negro	0,87	0,09
Hoja	0,15	0,05	Concreto	0,60	0,88
Cobre			Mármol Blanco	0,46	0,95
Pulido			Ladrillo rojo	0,63	0,93
Deslustrado	0,65	0,75	Asfalto	0,90	0,90
Acero Inoxidable			Pintura Negra	0,97	0,97
Pulido	0,37	0,60	Pintura Blanca	0,14	0,93
Opaco	0,50	0,21	Nieve	0,28	0,97

Fuente: ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007. P. 691. Modificada por el autor.

El valor del calor sensible obtenido por radiación a través de techos exteriores se determinó por la siguiente formula⁵¹:

$$Q_{srt} = R * S * \alpha * \epsilon$$

$$Q_{srt Ref. Doméstica} = 195,8333 W/m^2 * 39,06 m^2 * 0,14 * 0,93$$

$$Q_{srt Ref. Doméstica} = 995,9324 W$$

⁵¹ ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007. P. 691

$$Q_{SRT\ Ref.\ Comercial} = 195,8333\ W/m^2 * 57,66\ m^2 * 0,14 * 0,93$$

$$Q_{SRT\ Ref.\ Comercial} = 1470,1859\ W$$

El resultado de la carga térmica por radiación en techos obtenido para el cuarto de ensayos adecuado a los equipos de refrigeración doméstica es de 0,9959 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 1,4702 KW.

3.2.1.2 Carga sensible por radiación a través de paredes exteriores. Para determinar las ganancias térmicas obtenidas por radiación solar en las paredes, se utilizó la misma ecuación empleada en la radiación solar obtenida para techos, donde el valor que varía con respecto al cálculo anterior es la superficie de cerramiento exterior de cada cuarto de pruebas y ensayos, siendo el valor de la superficie total la sumatoria de las áreas de cada muro exterior que se encuentra expuesta a la radiación solar. Para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica como para el cuarto de pruebas de refrigeración comercial, los muros que se encuentran expuestos a la radiación solar son el muro lateral junto con el muro frontal o posterior de la cámara según su ubicación.

Las paredes expuestas a la radiación solar para la cámara destinada a los equipos de refrigeración doméstica son el muro frontal o posterior (Ancho: 4,2 m, Alto: 4,3 m) y el muro lateral (Ancho: 9,3 m, Alto: 4,3 m); mientras que las paredes expuestas a radiación solar para la cámara destinada a los equipos de refrigeración comercial son el muro frontal o posterior (Ancho: 6,2 m, Alto: 4,3 m), y el muro lateral (Ancho: 8,3 m, Alto: 4,3 m). La superficie total para cada uno de los cuartos de pruebas es:

$$S_{Paredes} = Ancho * Largo$$

$$S_{Ref.Doméstica} = (4,2\ m * 4,3\ m) + (9,3\ m * 4,3\ m)$$

$$S_{Ref.Doméstica} = 18,06\ m^2 + 39,99\ m^2$$

$$S_{Ref.Doméstica} = 58,05\ m^2$$

$$S_{Ref.Comercial} = (6,2\ m * 4,3\ m) + (9,3\ m * 4,3\ m)$$

$$S_{Ref.Comercial} = 26,66\ m^2 + 39,99\ m^2$$

$$S_{Ref.Comercial} = 66,65\ m^2$$

Al reemplazar los valores de las superficies en la fórmula de radiación solar en superficies planas⁵², el resultado obtenido para la carga térmica por radiación en paredes para cada uno de los cuartos de ensayos fue de:

⁵² Ibid., p. 691

$$Q_{srp} = R * S * \alpha * \varepsilon$$

$$Q_{srp \text{ Ref. Doméstica}} = 195,8333 \text{ W/m}^2\text{K} * 58,05 \text{ m}^2 * 0,14 * 0,93$$

$$Q_{srt \text{ Ref. Doméstica}} = 1480,1299 \text{ W}$$

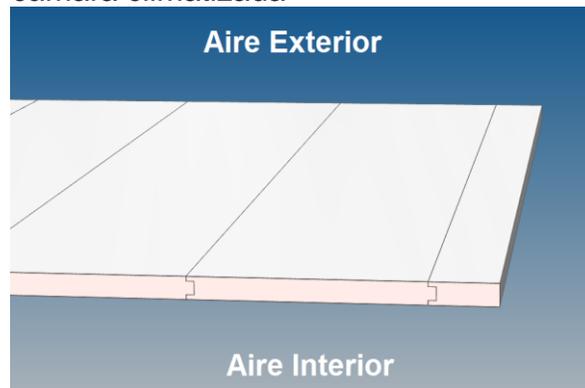
$$Q_{srp \text{ Ref. Comercial}} = 195,8333 \text{ W/m}^2\text{K} * 66,65 \text{ m}^2 * 0,14 * 0,93$$

$$Q_{srt \text{ Ref. Comercial}} = 1699,4084 \text{ W}$$

El resultado de la carga térmica por radiación en techos obtenido para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica es de 1,4801 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 1,6994 KW.

3.2.1.3 Carga sensible por transmisión de calor a través de los techos. Para determinar las ganancias térmicas de la transferencia de calor por convección y conducción entre el ambiente exterior e interior, es necesario realizar una sumatoria de resistencias según el tipo de transferencia de calor que se realice; para el caso de los techos y paredes de la cámara climatizada se estudiara la convección natural entre el ambiente exterior y las paredes de la cámara, luego la conducción entre los paneles poliuretano expandido y finalmente la convección forzada entre el ambiente interno y las paredes del cuarto de pruebas.

Figura 34. Construcción del techo de la cámara climatizada



Para determinar el coeficiente de convectividad del aire exterior debemos conocer las condiciones del ambiente de Bogotá a una temperatura máxima promedio, en este caso la temperatura promedio es de 21°C para el mes de enero como el mes más cálido del año.

Tabla 5. Condiciones Del aire de Bogotá a 21°C

Condiciones Aire Exterior a 21°C (Bogotá 2600 m Alt.)	
Vel. Prom Aire	5 m/Seg
Gravedad	9,799 m/Seg ²
Presión	73,76 Kpa
Densidad	0,8669 Kg/m ³
Visc. Dinámica	1,825E-05 Kg/m * seg
Visc. Cinematica	2,1055E-05 m ² /seg
Cond. Térmica	0,02514 W/m ² K
Prandtl	0,73 -
Dif. Térmica	2,8806E-05 m ² /seg ²

Fuente: ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007. P. 863. Modificada por el autor

Por medio de estos datos se determinó el número de Reynolds usando la siguiente fórmula⁵³ con el objetivo de comprobar si el flujo de aire se encuentra en estado laminar o turbulento para la sección del techo de cada uno de los cuartos de pruebas:

$$Re = \frac{L * Vel_{Aire}}{V_{cinemática}} \quad \begin{array}{l} Re < 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Laminar} \\ Re > 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Turbulento} \end{array}$$

Luego se reemplazan los diferentes valores de la fórmula, teniendo en cuenta la longitud característica de la superficie "L" como el lado más grande de la superficie del techo en estudio (8,21 m para ambos cuartos) con el objetivo de estudiar el caso más crítico, pues no se conoce el lugar y la incidencia del aire sobre la cámara; así:

$$Re = \frac{9,3 \text{ m} * 5 \text{ m/s}}{2,1055 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 2208501,544 \quad Re > 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Turbulento}$$

Al determinar que el flujo de aire exterior es turbulento, es necesario conocer el número de Rayleigh por medio de la siguiente fórmula⁵⁴:

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_{sup} - T_{amb}) * L^3}{V_{cinematica} * \alpha_{térmica}} \quad \beta = \frac{1}{T_{ambiente} (\text{°K})}$$

⁵³ Ibid., p 366.

⁵⁴ Ibid., p 510.

Siendo g la gravedad, β el coeficiente de expansión volumétrica⁵⁵, T_{sup} como la temperatura de la superficie en estudio, T_{amb} la temperatura del ambiente exterior, L la longitud característica, $\nu_{cinemática}$ la viscosidad cinemática y $\alpha_{térnica}$ la difusividad térmica. Posteriormente reemplazamos en la formula las diferentes variables así:

$$\beta = \frac{1}{21^{\circ}C} \rightarrow \frac{1}{294,15 K} \quad \beta = 3,3996 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$Ra = \frac{9,799 \text{ m/s} * 3,3996 \times 10^{-3} K^{-1} * (25^{\circ}C - 21^{\circ}C) * (9,3 \text{ m})^3}{2,1055 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} * 2,8806 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$Ra = 1,7672 \times 10^{11}$$

Para hallar el Numero de Nusselt se debe estudiar si es una placa horizontal o vertical, por lo que para techos se determina por medio de una de las siguientes formulas según la condición⁵⁶:

$$\overline{Nu} = 0,54 * Ra^{1/4} \quad \overline{Nu} = 0,14 * Ra^{1/3}$$

Cuando $10^4 < Ra < 10^9$ Cuando $Ra > 10^9$

Para este caso se cumple la segunda condición, por lo cual se reemplazó el número de Rayleigh en la ecuación anterior, el valor de la constante Nusselt es:

$$\overline{Nu} = 0,14 * Ra^{1/3} \rightarrow \overline{Nu} = 0,14 * (1,7672 \times 10^{11})^{1/3}$$

$$\overline{Nu} = 785,6361$$

Finalmente se determina el valor del coeficiente de convección del aire a través de la fórmula⁵⁷:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L}$$

Siendo L la longitud característica de la placa en estudio y k el coeficiente de conducción del aire exterior según las condiciones descritas anteriormente. Al reemplazar los valores en la formula, obtenemos:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L} \rightarrow \frac{785,6361 * 0,02514 \text{ W/m.K}}{9,3 \text{ m}} \quad h = 2,1237 \text{ W/m}^2.K$$

Para el ambiente exterior, el coeficiente convectivo del aire sobre los techos de la cámara climatizada es de $2,1237 \text{ W/m}^2.K$

⁵⁵ Ibid., p 506.

⁵⁶ Ibid., p 511.

⁵⁷ Ibid., p 358.

Con respecto al coeficiente de convección del ambiente interior, se evalúan las condiciones del aire que se desean simular y controlar junto con las propiedades del aire, realizando una convección forzada a una temperatura de 2°C que es el límite inferior de operación de la cámara.

Tabla 6. Condiciones del aire a 2°C y al nivel del mar

Condiciones Aire Interior a 2°C	
Nivel mar(0 m Alt.)	
Vel. Prom Aire	0,254 m/Seg
Gravedad	9,8 m/Seg ²
Presión	101,3 Kpa
Densidad	1,2856 Kg/m ³
Visc. Dinámica	1,738E-05 Kg/m * seg
Visc. Cinematica	1,3522E-05 m ² /Seg
Cond. Térmica	0,0238 W/m ² K
Prandtl	0,7356 -
Dif. Térmica	1,8464E-05 m ² /Seg ²

Fuente: ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007. Modificada por el Autor

El proceso de cálculo es similar al anterior, donde al emplear la fórmula del número de Reynolds se determinó que:

$$Re = \frac{9,3m * 0,254 \text{ m/s}}{1,3522 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 174693,0927 \quad Re < 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Laminar}$$

Al establecer que el flujo del aire es laminar, la ecuación para determinar el número de Nusselt cambia, resolviendo el valor de esta constante a través de la siguiente fórmula:

$$\overline{Nu} = 0,664 * Re^{1/2} * Pr^{1/3}$$

Siendo Re el número de Reynolds y Pr el número de Prandtl, se determinó el número de Nusselt así:

$$\overline{Nu} = 0,664 * (174693,0927)^{1/2} * (0,7356)^{1/3}$$

$$\overline{Nu} = 250,5254$$

Finalmente se determinó el valor del coeficiente de convección del aire interior reemplazando los valores en la misma fórmula empleada para determinar el coeficiente de convección del ambiente exterior, así:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L} \rightarrow \frac{250,5254 * 0,0238 \text{ W/m.K}}{9,3 \text{ m}} \quad h = 0,6411 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Para el ambiente interior, el coeficiente convectivo del aire sobre los techos de la cámara climatizada es de $0,6411 \text{ W/m}^2.\text{K}$

Determinando los coeficientes de convección del aire exterior e interior, junto con el espesor y coeficientes de conducción del material constructivo, se determinó el coeficiente global de transferencia de calor empleando la siguiente fórmula⁵⁸:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{h_{ext}} + \frac{\Delta X}{K_{poliuretano}} + \frac{1}{h_{int}}}$$

Tabla 7. Coeficientes de transferencia de calor por convección y conducción del aire para los techos

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR				
	Nombre	Espesor (m)	Coef. Trans Calor	
			Valor	Unidad
1	Convección Aire Exterior Techo	-	2,1237	$\text{W/m}^2.\text{K}$
2	Poliuretano expandido recubierto	0,1	0,023	$\text{W/m}^2.\text{K}$
3	Convección Aire Interior Techo	-	0,6411	$\text{W/m}^2.\text{K}$

Remplazando los valores en la siguiente fórmula, se obtiene un coeficiente global de transferencia de calor de:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2,1237 \text{ W/m}^2.\text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m.K}} + \frac{1}{0,6411 \text{ W/m}^2.\text{K}}}$$

$$K = \frac{1}{0,4709 \text{ m}^2.\text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2.\text{K/W} + 1,5598 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

$$K = \frac{1}{6,3785 \text{ m}^2.\text{K/W}} \rightarrow K = 0,1568 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en los techos de cada cuarto de pruebas, se calculó la carga térmica sensible por transmisión de calor a través estos con la siguiente fórmula⁵⁹:

⁵⁸ PINAZO OJER, José Manuel. Manual De Climatización: Cargas Térmicas. Tomo II México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2010. P. 103.

⁵⁹ Ibid., p. 102.

$$Q_{stte} = K * S * \Delta T$$

Siendo K el Coeficiente global de transferencia de calor, S la superficie del techo que se encuentra expuesta a conducción y convección con el ambiente exterior e interior y ΔT la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior del cuarto. Finalmente se reemplazaron los valores para cada cuarto, así:

$$Q_{stte \text{ Ref. Doméstica}} = 0,1568 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 39,06 \text{ m}^2 * (21^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C})$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Doméstica}} = 114,6367 \text{ W}$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Comercial}} = 0,1568 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 57,66 \text{ m}^2 * (21^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C})$$

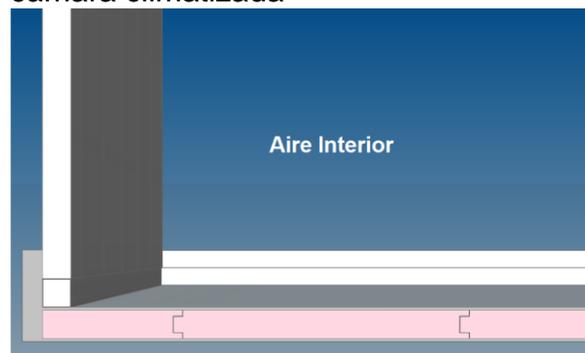
$$Q_{stte \text{ Ref. Comercial}} = 169,2256 \text{ W}$$

La carga térmica obtenida para el cuarto de ensayos adecuado para los equipos de refrigeración doméstica es de 0,1146 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 0,1692 KW.

3.2.1.4 Carga sensible por transmisión de calor a través de pisos. El proceso para determinar las ganancias de calor a través del suelo para cada laboratorio de pruebas es muy similar al que se realizó en el estudio de los techos de la cámara climatizada realizando la sumatoria de resistencias según el tipo de transferencia de calor que se realicé; para el caso de los pisos de la cámara climatizada se estudiara la conducción entre las dos capas de hormigón ($K=1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$) que envuelven al panel de aislamiento térmico de poliuretano, junto con la convección forzada entre el ambiente interno y la superficie de los pisos de cada cuarto de pruebas.

$$K = \frac{1}{\frac{\Delta X}{K_{\text{Hormigón}}} + \frac{\Delta X}{K_{\text{poliuretano}}} + \frac{\Delta X}{K_{\text{Hormigón}}} + \frac{1}{h_{\text{int}}}}$$

Figura 35. Composición del suelo de la cámara climatizada



$$K = \frac{1}{\frac{0,01 \text{ m}}{1,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{0,01 \text{ m}}{1,40 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{1}{0,6411 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}}$$

$$K = \frac{1}{7,1429 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 7,1429 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 1,5598 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

$$K = \frac{1}{5,9219 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}} \rightarrow K = 0,1689 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en los suelos de cada cuarto de pruebas, se calculó la carga térmica sensible por transmisión de calor a través estos, así:

$$Q_{stp \text{ Ref. Doméstica}} = 0,1689 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 39,06 \text{ m}^2 * (21^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C})$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Doméstica}} = 123,4753 \text{ W}$$

$$Q_{stp \text{ Ref. Comercial}} = 0,1689 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 57,66 \text{ m}^2 * (21^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C})$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Comercial}} = 169,2256 \text{ W}$$

La carga térmica obtenida para el cuarto de ensayos adecuado para los equipos de refrigeración doméstica es de 0,1235 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 0,1692 KW.

3.2.1.5 Carga sensible por transmisión de calor a través de paredes exteriores. Con respecto a las ganancias térmicas obtenidas por transferencia de calor en las paredes, el valor que varía con respecto a la transferencia de calor obtenida en los techos es la superficie de cerramiento exterior de cada cuarto de pruebas y ensayos, el cual es:

$$S_{Paredes} = \text{Ancho} * \text{Alto}$$

$$S_{\text{Ref.Doméstica}} = (4,2 \text{ m} * 4,3 \text{ m}) + (9,3 \text{ m} * 4,3 \text{ m}) + (4,2 \text{ m} * 4,3 \text{ m})$$

$$S_{\text{Ref.Doméstica}} = 18,06 \text{ m}^2 + 39,99 \text{ m}^2 + 18,06 \text{ m}^2$$

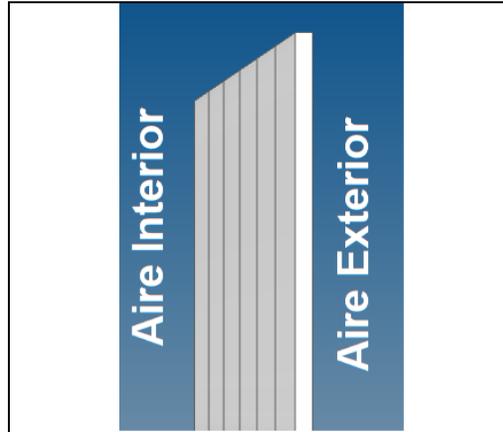
$$S_{\text{Ref.Doméstica}} = 76,11 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Ref.Comercial}} = (6,2 \text{ m} * 4,3 \text{ m}) + (9,3 \text{ m} * 4,3 \text{ m}) + (6,2 \text{ m} * 4,3 \text{ m})$$

$$S_{\text{Ref.Comercial}} = 26,66 \text{ m}^2 + 39,99 \text{ m}^2 + 26,66 \text{ m}^2$$

$$S_{\text{Ref.Comercial}} = 93,31 \text{ m}^2$$

Figura 36. Estructura de las paredes exteriores de la cámara climatizada.



Para determinar los coeficientes de convektividad del ambiente exterior e interior, se debe tener en cuenta que las placas en estudio son verticales y no horizontales como se realizó anteriormente para los techos. Para el ambiente exterior, el único valor que varía en el procedimiento de cálculo es el número de Nusselt, mientras que los valores del número de Reynolds ($2208501,544 = \text{Turbulento}$), junto con el número de Rayleigh ($1,7672 \times 10^{11}$), se mantienen constantes.

Para determinar el número de Nusselt para superficies verticales se emplea una de las siguientes formulas según la condición:

$$\begin{array}{ll} \overline{Nu} = 0,59 * Ra^{1/4} & \overline{Nu} = 0,13 * Ra^{1/3} \\ \text{Cuando } 10^4 < Ra < 10^9 & \text{Cuando } Ra > 10^9 \end{array}$$

Para este caso, se cumple la segunda condición; para hallar el número de Nusselt, se reemplazaron los valores en la ecuación, así:

$$\overline{Nu} = 0,13 * Ra^{1/3} \rightarrow \overline{Nu} = 0,13 * (1,7672 \times 10^{11})^{1/3}$$

$$\overline{Nu} = 729,5223$$

Luego de determinar el valor de Nusselt, se determina el coeficiente de convección natural del aire exterior, así:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L} \rightarrow \frac{729,5223 * 0,02514 \text{ W/m.K}}{9,3 \text{ m}} \quad h = 1,972 \text{ W/m}^2.K$$

Con respecto al coeficiente de convección forzada del ambiente interior, el valor es el mismo que se determinó en el procedimiento destinado a los techos de los cuartos de pruebas ($0,6411 \text{ W/m}^2.K$), pues no hay una ecuación diferente para hallar el número de Nusselt cuando se realiza una convección forzada en superficies planas.

Tabla 8. Coeficientes de transferencia de calor por convección del aire para paredes exteriores

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR				
	Nombre	Espesor (m)	Coef. Trans Calor	
			Valor	Unidad
4	Convección Aire Exterior Paredes	-	1,9720	$W/m^2 \cdot K$
5	Convección Aire Interior Paredes	-	0,6411	$W/m^2 \cdot K$

Luego de determinar los coeficientes de convección de cada uno de los ambientes, se realizó el cálculo para determinar el coeficiente global de transferencia de calor teniendo en cuenta la convección de los ambientes y la conducción de calor entre la pared en estudio, así:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1,9720 \text{ W/m}^2 \cdot K} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m} \cdot K} + \frac{1}{0,6411 \text{ W/m}^2 \cdot K}}$$

$$K = \frac{1}{0,5071 \text{ m}^2 \cdot K/W + 4,3478 \text{ m}^2 \cdot K/W + 1,5598 \text{ m}^2 \cdot K/W}$$

$$K = \frac{1}{6,4147 \text{ m}^2 \cdot K/W} \rightarrow K = 0,1559 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en las paredes de cada cuarto de pruebas, se puede calcular la carga térmica sensible por transmisión de calor a través de los techos a través de la siguiente formula:

$$Q_{stpe} = K * S * \Delta T$$

Siendo K el Coeficiente global de transferencia de calor, S la superficie del cerramiento que se encuentra expuesto a conducción y convección con el ambiente exterior e interior y ΔT la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior del cuarto. Finalmente se reemplazan los valores para cada cuarto, así:

$$Q_{stpe \text{ Ref. Doméstica}} = 0,1559 \text{ W/m}^2 \cdot K * 76,11 \text{ m}^2 * (21^\circ C - 2^\circ C)$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Doméstica}} = 222,1129 \text{ W}$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Comercial}} = 0,1559 \text{ W/m}^2 \cdot K * 93,31 \text{ m}^2 * (21^\circ C - 2^\circ C)$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Comercial}} = 272,3079 \text{ W}$$

La carga térmica obtenida para el cuarto de ensayos adecuado para los equipos de refrigeración doméstica es de 0,2221 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 0,2723 KW.

3.2.1.6 Carga sensible por transmisión a través de la pared interna de división. Para el cálculo de las ganancias térmicas obtenidas por transferencia de calor en las paredes de división en el interior de la cámara, se debe tener en cuenta que el ambiente exterior del cuarto que se desee analizar son las condiciones del ambiente que se esté controlando en el otro cuarto de pruebas, por lo que el caso crítico de estudio es cuando un cuarto controle un ambiente a 2°C mientras que el otro cuarto de pruebas simule un ambiente a 45°C. por lo cual se requiere conocer las propiedades del aire a dicha temperatura.

Tabla 9. Condiciones del aire a 45°C y al nivel del mar

Condiciones Aire Interior a 45°C (Nivel del Mar)		
Vel. Prom Aire	0,254	m/seg
Gravedad	9,8	m/seg ²
Presión	101,3	Kpa
Densidad	1,109	Kg/m ³
Visc. Dinámica	1,941E-05	Kg/m * seg
Visc. Cinemática	1,750E-05	m ² /seg
Cond. Térmica	0,02699	W/m ² K
Prandtl	0,7241	-
Dif. Térmica	2,4160E-05	m ² /seg ²

Fuente: ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a.ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección forzada para el ambiente interior a 45°C, se debe determinar si el flujo de aire es laminar o turbulento a través del número de Reynolds, así:

$$Re = \frac{L * Vel_{Aire}}{V_{cinemática}} \quad \begin{array}{l} Re < 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Laminar} \\ Re > 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Turbulento} \end{array}$$

$$Re = \frac{9,3m * 0,254 \text{ m/s}}{1,750 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 134982,8571 \quad Re < 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Laminar}$$

Al determinar que el flujo de aire es un flujo laminar, se procedió a determinar el número de Nusselt, por medio del siguiente procedimiento:

$$\begin{aligned}\overline{Nu} &= 0,664 * Re^{1/2} * Pr^{1/3} \\ \overline{Nu} &= 0,664 * (134982,8571)^{1/2} * (0,7241)^{1/3} \\ \overline{Nu} &= 219,0653\end{aligned}$$

Luego de hallar el valor del número de Nusselt, se determinó el coeficiente de convección forzada del aire interior a 45°C, así:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L} \rightarrow \frac{219,0653 * 0,02699 \text{ W/m.K}}{9,3 \text{ m}} \qquad h = 0,6358 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Tabla 10. Coeficientes de transferencia de calor por convección del aire para paredes interiores

COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR	
Nombre	Coef. Trans Calor
Ambiente interno a 2°C	0,6411 W/m ² .K
Ambiente interno a 45°C	0,6358 W/m ² .K

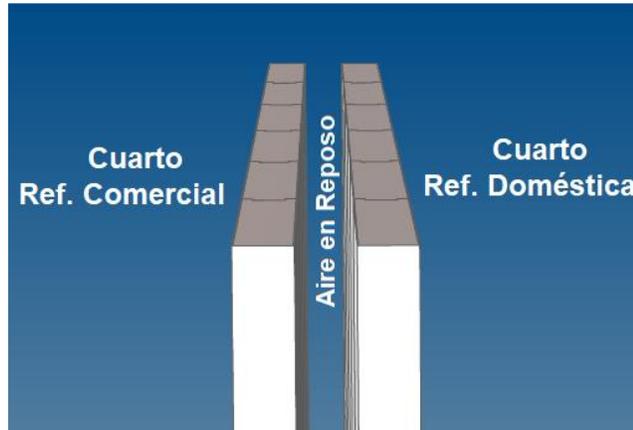
Debido a que la pared interior de división entre los cuartos de pruebas y ensayos está formada por dos paneles de poliuretano expandido, se debe ingresar a la sumatoria de resistencias térmicas la capa de aire en reposo y el módulo adicional, así:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,6411 \text{ W/m}^2.\text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m.K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,024 \text{ W/m.K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m.K}} + \frac{1}{0,6358 \text{ W/m}^2.\text{K}}}$$

$$K = \frac{1}{1,5598 \text{ m}^2.\text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2.\text{K/W} + 4,1667 \text{ m}^2.\text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2.\text{K/W} + 1,5728 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

$$K = \frac{1}{15,99496 \text{ m}^2.\text{K/W}} \rightarrow K = 0,0625 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Figura 37. Estructura de las paredes de división de la Cámara climatizada



Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en las paredes de cada cuarto de pruebas, se calculó la carga térmica sensible por transmisión de calor a través de los techos por medio de la siguiente fórmula:

$$Q_{stpi} = K * S * \Delta T$$

Siendo K el Coeficiente global de transferencia de calor, S la superficie del cerramiento que se encuentra expuesto a conducción y convección con el ambiente exterior e interior y ΔT la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior del cuarto. Finalmente se reemplazaron los valores para cada cuarto, así:

$$Q_{stpi} = 0,0625 \frac{W}{m^2 \cdot K} * 38,22 m^2 * (45^{\circ}C - 2^{\circ}C)$$

$$Q_{stpi} = 102,7485 W$$

El flujo de calor obtenido para el muro de división interno entre es de 0,1027 KW; Este valor es el mismo para cada uno de los cuartos de refrigeración doméstica y refrigeración comercial debido a que las condiciones ambientales se pueden recrear en cualquiera de los dos laboratorios.

3.2.1.7 Carga sensible por infiltración y ventilación del aire. La filtración de aire generalmente se presenta en las puertas y ventanas de cualquier recinto; como la cámara de pruebas se debe encontrar herméticamente cerrada, las filtraciones de aire son nulas, por lo cual su valor es 0.

Con respecto a las ganancias térmicas por ventilación de aire al interior de los cuartos de pruebas, es necesario calcular el volumen interior de cada una de las cámaras según el espacio interior neto disponible para ejecutar los ensayos, a través de la siguiente fórmula:

$$Vol_{.Cuarto} = Largo_{int} * Ancho_{int} * Alto_{int}$$

Reemplazando en la ecuación, obtenemos que:

$$\begin{aligned} Vol_{.Ref.Doméstica} &= 6m * 4m * 3m & Vol_{.Ref.Comercial} &= 6m * 6m * 3m \\ Vol_{.Ref.Doméstica} &= 72 m^3 & Vol_{.Ref.Comercial} &= 108 m^3 \end{aligned}$$

El aire se debe renovar según el recinto y la actividad que se vaya a desarrollar, para este caso donde la cámara climatizada funcionará como un laboratorio de ensayos, “la ventilación recomendable es de 25 a 35 m³/h por persona”.⁶⁰

También el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios – RITE establece una categorización según la calidad del aire interior (IDA) de diferentes edificaciones, en donde clasifica a los laboratorios de pruebas como IDA 1 “Aire de óptima calidad”; para esta categoría designa un caudal mínimo de ventilación de 72 m³/h por persona (20 dm³/s por persona).⁶¹

Cuadro 9. Caudales de aire exterior por persona según la categoría de aplicación

Tabla 1.4.2.1 Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona	
Categoría	dm³/s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Fuente: ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Real decreto 1027. 20 de Julio de 2007) por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios – RITE. Madrid. 2013. P. 46.

Otra forma de calcular el caudal de ventilación es según la cantidad de renovaciones dependiendo el lugar o local donde se realizará un acondicionamiento de aire, para ello es necesario conocer el volumen de aire interior del recinto que se desea climatizar. Para calcular este caudal se emplea la siguiente fórmula⁶²:

$$\dot{Q} = Vol_{.local} * N^{\circ}Ren./hr$$

⁶⁰ CARRIER AIR CONDITIONING Co. ALARCON CREUS, José; BOIXAREU VILAPLANA, José María y CAPELLÁN GUILLEN, Carlos. Manual De Aire Acondicionado “Handbook of Air Conditioning System Design”. Barcelona: Marcombo S.A., 2009. P. IX-24.

⁶¹ ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Real decreto 1027. (20 de Julio de 2007) por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios – RITE. Madrid. 2013. P. 46.

⁶² PINAZO OJER, José Manuel. Manual De Climatización: Cargas Térmicas. Tomo II México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2010.

Tabla 11. Número de renovaciones de aire para diferentes locales

Numero de Renovaciones de aire por hora	
Tipo de Local	Nº Ren/h
Despachos	4 - 6
Discotecas	20 - 30
Fabricas en general	6 - 10
Garajes	6 - 8
Grandes almacenes	4 - 6
Hospitales	4 - 8
Iglesias	1
Instalaciones de decapado	5 - 15
Laboratorios	5 - 15
Lavabos	10 - 15
Lavandería	20 - 30
Locales para ventas	4 - 8
Mataderos	6 - 10
Piscina cubierta	6 - 7
Pisos	3 - 5
Pollería	6 - 10
Quirofanos	8 - 10
Residencia	1 - 2
Ambientes nocivos	30 - 60
Bancos	2 - 4
Bares de hoteles	4 - 6
Bibliotecas	4 - 5
Cáfes y bares	10 - 12
Cavas para champiñones	10 - 20
Cines	10 - 15
Cocinas comerciales o de escuelas	15 - 20
Cocinas domésticas	10 - 15
Cocinas grandes para hospitales, cuarteles, hoteles	20 - 30

Fuente: REY MARTÍNEZ, Francisco Javier; VELASCO GOMEZ, Eloy. Calidad de ambientes interiores. Madrid, ESPAÑA. Thompson editores España. 2007. P. 102. Modificada por el autor.

Para el caso de la cámara climatizada, el rango de renovaciones de aire para un laboratorio de pruebas y ensayos esta entre 5 y 15 Ren/h, teniendo en cuenta estos parámetros de diseño para la ventilación de cada uno de los cuartos de ensayos, se puede calcular el caudal de aire requerido para cada espacio a través del volumen de aire interior de cada cuarto, así:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{Ref.Doméstica} &= 72 \text{ m}^3 * 15 \text{ Ren./h} & \dot{Q}_{Ref.Comercial} &= 108 \text{ m}^3 * 15 \text{ Ren./h} \\ \dot{Q}_{Ref.Doméstica} &= 1080 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (0,3 m}^3/\text{s)} & \dot{Q}_{Ref.Comercial} &= 1620 \text{ m}^3/\text{h} \text{ (0,45 m}^3/\text{s)} \end{aligned}$$

También es importante conocer la densidad y el calor específico del aire exterior a las condiciones que se encuentre el ambiente para determinar la carga térmica; para este caso en donde el ambiente exterior se encuentra a 21°C, la densidad es de 0,8669 Kg/m³ y el calor específico es de 1,0028597 KJ/Kg.K.⁶³

Esta carga térmica se obtiene a partir de la siguiente fórmula⁶⁴:

$$Q_{sv} = Q' * \rho_{aire} * cp_{aire} * \Delta T$$

Reemplazando en la ecuación para la carga térmica por renovación de aire. el resultado obtenido para cada uno de los cuartos de ensayos es:

$$Q_{sv \text{ Ref. Doméstica}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} * 0,8669 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 1002,8597 \text{ J}/\text{Kg.K} * (21^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C})$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Doméstica}} = 4882,4331 \text{ W}$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Comercial}} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s} * 0,8669 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 1002,8597 \text{ J}/\text{Kg.K} * (21^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C})$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Comercial}} = 7323,6497 \text{ W}$$

Para el cuarto de ensayos adecuado a los equipos de refrigeración doméstica se obtuvo una carga térmica de 4,8824 KW, mientras que para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial se obtuvo una ganancia térmica de 7,3236 KW.

3.2.1.8 Carga latente por infiltración y ventilación del aire. Para el cálculo del calor latente por ventilación de aire, se analiza la cantidad de vapor de agua o humedad relativa que tiene el ambiente que ingresa al cuarto, por lo que se debe tener en cuenta el calor específico del agua (4,3470 KJ/Kg.K) la humedad absoluta del ambiente exterior (12,4286 g/Kg para una temperatura de 21°C y humedad relativa del 50%) y la humedad absoluta del ambiente interior de la cámara (5,5714 g/Kg para una temperatura de 2°C y humedad relativa del 98%). Estos Valores se reemplazan en la siguiente fórmula, así:

$$Q_{Lv \text{ Ref. Doméstica}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} * 0,8669 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 4347 \text{ J}/\text{Kg.K} * (10,8571 \text{ g}/\text{Kg} - 5,5714 \text{ g}/\text{Kg})$$

$$Q_{Lv \text{ Ref. Doméstica}} = 5975,6122 \text{ W}$$

⁶³ ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

⁶⁴

$$Q_{Lv \text{ Ref. Comercial}} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s} * 0,8669 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 4347 \text{ J}/\text{Kg.K} * (10,8571 \text{ g}/\text{Kg} - 5,5714 \text{ g}/\text{Kg})$$

$$Q_{Lv \text{ Ref. Comercial}} = 8963,4184 \text{ W}$$

El resultado obtenido para el cuarto de ensayos adecuado a los equipos de refrigeración doméstica es de 5,9756 KW; de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 8,9634 KW.

3.2.1.9 Carga sensible por iluminación interna. La iluminación ubicada en el interior de la cámara climatizada será a través de lámparas fluorescentes tipo LED, donde el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración doméstica contará con 6 lámparas de 60x60 cm con una potencia de 60 W cada una, mientras que para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración comercial se instalarán 9 lámparas del mismo tamaño y capacidad eléctrica.

Figura 38. Ubicación de las luminarias en el interior de la cámara climatizada



Fuente: PACIFIC ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES, INC. Modular Wall Systems. California. 2016. [En línea]. Disponible en: www.peticleanair.com/wall-system/modular-wall-system/modular-wall-system.html

Debido a que las luminarias son de tipo Fluorescente, “la potencia térmica adjudicada a cada punto de luz será igual a la eléctrica multiplicada por 1,20”⁶⁵; es decir que la ecuación para calcular las ganancias térmicas se expresa como:

$$Q_{sil} = 1,20 * n_{luminarias} * Pot_{eléctrica}$$

⁶⁵ CARRIER AIR CONDITIONING Co. ALARCON CREUS, José; BOIXAREU VILAPLANA, José María y CAPELLÁN GUILLEN, Carlos. Manual De Aire Acondicionado “Handbook of Air Conditioning System Design”. Barcelona: Marcombo S.A., 2009. P. I-71.

Al reemplazar los datos, obtenemos que la carga térmica para cada uno de los cuartos de pruebas es de:

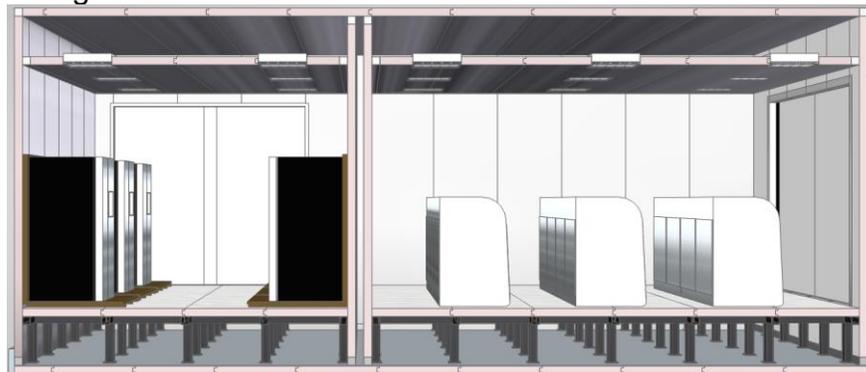
$$\begin{aligned} Q_{silRef.Doméstica} &= 1,20 * 6 * 60W & Q_{silRef.Comercial} &= 1,20 * 9 * 60W \\ Q_{silRef.Doméstica} &= 432 W & Q_{silRef.Comercial} &= 648 W \end{aligned}$$

Según lo anterior, la carga térmica generada por las luminarias ubicadas en el interior del cuarto de pruebas para equipos de refrigeración doméstica es de 0,432 KW; mientras que para el cuarto de pruebas para equipos de refrigeración comercial es de 0,648 KW.

3.2.1.10 Carga Sensible por equipos o motores ubicados en el interior de la cámara. Para determinar el calor aportado por los equipos y motores sometidos a prueba en el interior de la cámara climatizada, es necesario conocer la potencia energética que estos equipos consumen y multiplicarlos por la cantidad de equipos. Una nevera doméstica con dos compartimientos para la refrigeración y congelación de alimentos tiene en promedio una potencia energética de 130 W; en el caso de los equipos comerciales, se tomó como referencia una vitrina horizontal de 2,6 Litros el cual tiene un compresor que opera con una potencia eléctrica de 1¹/₄ HP (932,1 W)

El cuarto de pruebas y ensayos establecido para los equipos de refrigeración domestica fue diseñado para evaluar 6 equipos de gran tamaño en simultaneo, mientras que el cuarto diseñado para las pruebas y ensayos de los equipos de refrigeración comercial tiene la capacidad de evaluar 3 equipos de mayor dimensionamiento (vitrinas horizontales), siendo los equipos con mayor consumo eléctrico.

Figura 39. Capacidad total de equipos sometidos a ensayos energéticos



La carga térmica que aportan los equipos al ambiente controlado se determina de la siguiente manera:

$$Q_{se} = Pot. eléctrica_{equipos} * N^{\circ}equipos_{a\ evaluar}$$

$$Q_{seRef. Doméstica} = 130 W * 6 Equipos$$

$$Q_{seRef. Doméstica} = 780 W$$

$$Q_{seRef. Comercial} = 932,1 W * 3 Equipos$$

$$Q_{seRef. Comercial} = 2796,3 W$$

El resultado obtenido para el cuarto de ensayos de los equipos de refrigeración doméstica es de 0,780 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de 2,7963 KW.

3.2.1.11 Carga Sensible por personas en el interior de la cámara. Debido a que los ensayos a realizar en cada uno de los cuartos de la cámara climatizada no permiten de la presencia de personas durante la ejecución de las pruebas, esta carga no será tomada en cuenta para el cálculo de las ganancias térmicas a la cámara.

3.2.1.12 Carga térmica total para refrigeración de la cámara climatizada. Después de realizar el análisis respectivo a cada uno de los cuartos de ensayos y pruebas ubicados en el interior de la cámara sobre los diferentes factores que aportan calor al ambiente, la carga térmica total para cada uno de los cuartos de pruebas se determinó así:

Tabla 12. Cargas térmicas totales para refrigeración de la cámara climatizada

CALCULO CARGAS TÉRMICAS					
N°	SIMBOLO	NOMBRE	VALOR		
			Ref. Doméstica		Ref. Comercial
1	Qsrt	Carga por Radiación a través de Techos	0,9959	KW	1,4702 KW
2	Qsrp	Carga por Radiación a través de paredes	1,4801	KW	1,6994 KW
3	Qstte	Carga por Transmisión de calor a través de techos exteriores	0,1146	KW	0,1692 KW
4	Qstp	Carga por Transmisión de calor a través de Pisos	0,1235	KW	0,1823 KW
5	Qstpe	Carga por Transmisión de calor a través de Paredes exteriores	0,2221	KW	0,2723 KW
6	Qst	Carga por transmisión de calor a través de la pared de división interna	0,1027	KW	0,1027 KW
7	Qsi	Carga por ventilación del aire exterior a la cámara	4,8824	KW	7,3236 KW
8	Qsp	Carga por ocupantes en el interior de la cámara	0	KW	0 KW
9	Qse	Carga por equipos o motores ubicados en el interior de la cámara	0,7800	KW	2,7963 KW
10	QLp	Carga por ocupantes en el interior de la cámara	0	KW	0 KW
CARGA TERMICA TOTAL			15,1091	KW	23,6275 KW

El resultado obtenido para el cuarto de ensayos de los equipos de refrigeración doméstica es de 15,1091 KW (4,2962 TR), mientras que para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración comercial es de 23,6275 KW (6,6275 TR).

3.2.2 Carga térmica para la calefacción de los ambientes controlados. El procedimiento para determinar la carga térmica de calefacción requerida para los dos cuartos diseñados para la ejecución de ensayos es muy similar al empleado para la carga térmica de refrigeración, en donde “se considerará la peor situación, temperatura mínima, radiación solar nula, mínima presencia de personas, luces y motores, etc.”⁶⁶

3.2.2.1 Carga sensible por transmisión de calor a través de los techos. Para determinar las pérdidas de calor de la transferencia de calor por convección y conducción entre el ambiente exterior e interior, se empleará el mismo método utilizado en el desarrollo de la carga térmica de refrigeración iniciando por conocer las condiciones del ambiente en la altura de Bogotá, siendo las horas de la noche y madrugada donde se registran las temperaturas mínimas más críticas durante el día; para este caso se tomará una temperatura exterior de 0°C.

Tabla 13. Condiciones del aire de Bogotá a 0°C

Condiciones Aire Exterior a 0°C (Bogotá 2600 m Alt.)	
Vel. Prom Aire	5 m/Seg
Gravedad	9,799 m/Seg ²
Presión	73,76 Kpa
Densidad	0,94052 Kg/m ³
Visc. Dinámica	1,729E-05 Kg/m * seg
Visc. Cinemática	1,8383E-05 m ² /Seg
Cond. Térmica	0,02364 W/m ² K
Prandtl	0,7362 -
Dif. Térmica	2,4974E-05 m ² /Seg ²

Fuente: ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007. P. 863. Modificado por el autor

Por medio de estos datos se determinó el número de Reynolds, así:

$$Re = \frac{L * Vel.Aire}{V_{cinemática}}$$

$$Re < 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Laminar}$$

$$Re > 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Turbulento}$$

$$Re = \frac{9,3 \text{ m} * 5 \text{ m/s}}{1,8383 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}}$$

⁶⁶ PINAZO OJER, José Manuel. Manual De Climatización: Cargas Térmicas. Tomo II México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2010. P. 378.

$$Re = 2529510,961 \quad Re > 5 \times 10^5 \rightarrow \text{Turbulento}$$

Al determinar que el flujo de aire exterior es turbulento, se determinó el número de Rayleigh, así:

$$Ra = \frac{g * \beta * (T_{sup} - T_{amb}) * L^3}{V_{cinematica} * \alpha_{t\acute{e}rmica}} \quad \beta = \frac{1}{T_{ambiente} (^{\circ}K)}$$

$$\beta = \frac{1}{0^{\circ}C} \rightarrow \frac{1}{273,15 K} \quad \beta = 3,661 \times 10^{-3} K^{-1}$$

$$Ra = \frac{9,799 \text{ m/s} * 3,661 \times 10^{-3} K^{-1} * (2^{\circ}C - 0^{\circ}C) * (9,3 \text{ m})^3}{1,8383^{-5} \text{ m}^2/\text{s} * 2,4974 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$Ra = 1,2571 \times 10^{11}$$

Para hallar el Numero de Nusselt para techos se determinó por medio de una de las siguientes formulas:

$$\overline{Nu} = 0,54 * Ra^{1/4}$$

Cuando $10^4 < Ra < 10^9$

$$\overline{Nu} = 0,14 * Ra^{1/3}$$

Cuando $Ra > 10^9$

Para este caso se cumple la segunda condición, por lo cual se reemplazó el número de Rayleigh en la ecuación anterior, obteniendo el siguiente valor para la constante Nusselt:

$$\overline{Nu} = 0,14 * Ra^{1/3} \rightarrow \overline{Nu} = 0,14 * (1,2571 \times 10^{11})^{1/3}$$

$$\overline{Nu} = 701,3153$$

Finalmente, el valor del coeficiente de convección del aire se determina con la siguiente ecuación:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L} \rightarrow \frac{701,3153 * 0,02364 \text{ W/m.K}}{9,3 \text{ m}} \quad h = 1,7827 \text{ W/m}^2.K$$

Para el ambiente exterior, el coeficiente convectivo del aire sobre los techos de la cámara climatizada es de $1,7827 \text{ W/m}^2.K$. Con respecto al coeficiente de convección en el ambiente interior, se empleó el coeficiente de convección forzada en techos de $0,6358 \text{ W/m}^2.K$ a la temperatura de $45^{\circ}C$ y al nivel del mar. Con estos valores se puede determinar el coeficiente global de transferencia de calor con la siguiente sumatoria de resistencias térmicas:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1,7827 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{1}{0,6358 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}}$$

$$K = \frac{1}{0,56095 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 1,5728 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

$$K = \frac{1}{6,4816 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}} \rightarrow K = 0,1543 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en los techos de cada cuarto de pruebas, se calculó la carga térmica sensible por transmisión de calor a través de los techos así:

$$Q_{stte} = K * S * \Delta T$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Doméstica}} = 0,1543 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 39,06 \text{ m}^2 * (0^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Doméstica}} = -271,1789 \text{ W}$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Comercial}} = 0,1543 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 57,66 \text{ m}^2 * (0^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{stte \text{ Ref. Comercial}} = -400,3117 \text{ W}$$

La carga térmica obtenida para el cuarto de ensayos adecuado para los equipos de refrigeración doméstica es de -0,2712 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de -0,4003 KW.

3.2.2.2 Carga sensible por transmisión de calor a través de paredes exteriores. Con respecto a las pérdidas de calor a través de las paredes, es necesario conocer el coeficiente de convectividad del ambiente exterior con respecto a las placas verticales, donde el único valor que varía con referencia al procedimiento de cálculo anterior es el número de Nusselt, debido a que los valores del número de Reynolds ($2529510,961 = \text{Turbulento}$), junto con el número de Rayleigh ($1,2571 \times 10^{11}$), se mantienen constantes.

Para determinar el número de Nusselt para superficies verticales se emplea una de las siguientes formulas según la condición:

$$\overline{Nu} = 0,59 * Ra^{1/4}$$

Cuando $10^4 < Ra < 10^9$

$$\overline{Nu} = 0,13 * Ra^{1/3}$$

Cuando $Ra > 10^9$

Para este caso, se cumple la segunda condición; para hallar el número de Nusselt, se reemplazaron los valores en la ecuación, así:

$$\overline{Nu} = 0,13 * Ra^{1/3} \rightarrow \overline{Nu} = 0,13 * (1,2571 \times 10^{11})^{1/3}$$

$$\overline{Nu} = 651,2283$$

Luego de determinar el valor de Nusselt, se determinó el coeficiente de convección natural del aire exterior, así:

$$h = \frac{\overline{Nu} * k}{L} \rightarrow \frac{651,2283 * 0,02364 \text{ W/m.K}}{9,3 \text{ m}} \quad h = 1,6553 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Con respecto al coeficiente de convección forzada del ambiente interior, el valor es el mismo que se determinó en el procedimiento destinado a los techos de los cuartos de pruebas (0,6358 W/m².K), pues no hay una ecuación diferente para hallar el número de Nusselt cuando se realiza una convección forzada en superficies planas. Luego de determinar los coeficientes de convección de cada uno de los ambientes, se realizó el cálculo para determinar el coeficiente global de transferencia de calor:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{1,6553 \text{ W/m}^2.\text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m.K}} + \frac{1}{0,6358 \text{ W/m}^2.\text{K}}}$$

$$K = \frac{1}{0,6041 \text{ m}^2.\text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2.\text{K/W} + 1,5728 \text{ m}^2.\text{K/W}}$$

$$K = \frac{1}{6,5248 \text{ m}^2.\text{K/W}} \rightarrow K = 0,1533 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en las paredes de cada cuarto de pruebas, se calculó la carga térmica sensible por transmisión de calor a través de las paredes:

$$Q_{stpe} = K * S * \Delta T$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Doméstica}} = 0,1533 \text{ W/m}^2.\text{K} * 76,11 \text{ m}^2 * (0^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Doméstica}} = -524,9087 \text{ W}$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Comercial}} = 0,1533 \text{ W/m}^2.\text{K} * 91,08 \text{ m}^2 * (0^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{stpe \text{ Ref. Comercial}} = -643,5321 \text{ W}$$

La carga térmica obtenida para el cuarto de ensayos adecuado para los equipos de refrigeración doméstica es de -0,5249 KW, de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de -0,6435 KW.

3.2.2.3 Carga sensible por transmisión a través de la pared interna de división. Para el cálculo de las pérdidas térmicas por medio de las paredes de división entre los dos cuartos de pruebas, se debe tener en cuenta que el ambiente exterior del laboratorio que se desee analizar son las condiciones del ambiente interior que se esté controlando en la otra sala de pruebas, por lo que el caso crítico de estudio es cuando un cuarto controle un ambiente a 2°C (0,6411 W/m².K) mientras que el otro cuarto de pruebas simule un ambiente a 45°C (0,6358 W/m².K); a través de estos datos se determinó el coeficiente global de transferencia de calor de la siguiente forma:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,6358 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,024 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{0,1 \text{ m}}{0,023 \text{ W/m} \cdot \text{K}} + \frac{1}{0,6411 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}}$$

$$K = \frac{1}{1,5728 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 4,1667 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 4,3478 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} + 1,5598 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

$$K = \frac{1}{15,99496 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}} \rightarrow K = 0,0625 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Al determinar el coeficiente global de transferencia de calor entre los ambientes que influyen en las paredes de cada cuarto de pruebas, se procedió a calcular la carga térmica sensible por transmisión de calor a través de la división interna de paredes:

$$Q_{stpi} = K * S * \Delta T$$

$$Q_{stpi} = 0,0625 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} * 38,22 \text{ m}^2 * (2^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{stpi} = -102,7486 \text{ W}$$

El flujo de calor obtenido para el muro de división interno entre es de -0,1027 KW; Este valor es el mismo para el cuarto de refrigeración doméstica y refrigeración comercial debido a que las condiciones ambientales se pueden recrear en cualquiera de los dos.

3.2.2.4 Carga sensible por ventilación de aire. La filtración de aire generalmente se presenta en las puertas y ventanas de cualquier recinto, como la cámara de pruebas se debe encontrar herméticamente cerrada, las filtraciones de aire son nulas, por lo cual su valor es 0.

Con respecto a las pérdidas térmicas por ventilación de aire al interior de los cuartos de pruebas, se emplearon los mismos caudales para la renovación de aire deducidos para la carga térmica de refrigeración (Refrigeración doméstica 0,3 m³/s; Refrigeración comercial 0,45 m³/s).

También es importante conocer la densidad y el calor específico del aire exterior a las condiciones que se encuentre el ambiente para determinar la carga térmica; para este caso en donde el ambiente exterior se encuentra a 0°C, la densidad es de 0,94052 Kg/m³ y el calor específico es de 0,9998447 KJ/Kg.K⁶⁷. Con estos datos y condiciones del aire, se determinó la carga térmica por ventilación, así:

$$Q_{sv} = Q' * \rho_{aire} * cp_{aire} * \Delta T$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Doméstica}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} * 0,94052 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 999,8447 \text{ J}/\text{Kg.K} * (0^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Doméstica}} = -12695,0481 \text{ W}$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Comercial}} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s} * 0,94052 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 999,8447 \text{ J}/\text{Kg.K} * (0^\circ\text{C} - 45^\circ\text{C})$$

$$Q_{sv \text{ Ref. Comercial}} = -19042,5182 \text{ W}$$

Para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración doméstica se obtuvo una carga térmica de -12,695 KW, mientras que para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración comercial se obtuvo una perdida térmica de -19,0425 KW.

3.2.2.5 Carga latente por ventilación de aire. Para el cálculo del calor latente por ventilación de aire, se analiza la cantidad de vapor de agua o humedad relativa tiene el ambiente que ingresa al cuarto, por lo que se debe tener en cuenta el calor específico del vapor de agua a 0°C (1,8188 KJ/Kg.K) la humedad absoluta del ambiente exterior (4,57143 g/Kg para una temperatura de 0°C y humedad relativa del 92%) y la humedad absoluta del ambiente interior de la cámara (25 g/Kg para una temperatura de 45°C y humedad relativa del 40%). Estos valores se reemplazaron en la siguiente formula:

$$Q_{Lv} = Q' * \rho_{aire} * cp_{agua} * \Delta H$$

$$Q_{Lv \text{ Ref. Doméstica}} = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} * 0,94052 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 1818,8 \text{ J}/\text{Kg.K} * (4,57143 \text{ g}/\text{Kg} - 25 \text{ g}/\text{Kg})$$

$$Q_{Lv \text{ Ref. Doméstica}} = -10483,4802 \text{ W}$$

$$Q_{Lv \text{ Ref. Comercial}} = 0,45 \text{ m}^3/\text{s} * 0,94052 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 1818,8 \text{ J}/\text{Kg.K} * (4,57143 \text{ g}/\text{Kg} - 25 \text{ g}/\text{Kg})$$

$$Q_{Lv \text{ Ref. Comercial}} = -15725,2204 \text{ W}$$

⁶⁷ ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

El resultado obtenido para el cuarto de ensayos de refrigeración doméstica es de -10,4835 KW; de igual manera se obtuvo una ganancia térmica para el cuarto de ensayos de refrigeración comercial de -15,7252 KW.

3.2.2.6 Carga sensible por iluminación interna. Debido a que las instalaciones de las luminarias de cada uno de los laboratorios no varían dependiendo del proceso de acondicionamiento de aire, la carga térmica es la misma que se determinó para el caso de refrigeración; siendo de 0,432 KW para el cuarto de pruebas para equipos de refrigeración doméstica y de 0,648 KW para el cuarto de pruebas para equipos de refrigeración comercial.

3.2.2.7 Carga Sensible por equipos o motores ubicados en el interior de la cámara. Debido a que la cantidad de equipos a evaluar dentro de cada uno de los laboratorios no varía dependiendo del proceso de acondicionamiento de aire, la carga térmica es la misma que se determinó para el caso de refrigeración; siendo de 0,780 KW para el cuarto de pruebas para equipos de refrigeración doméstica y de 2,7963 KW para el cuarto de pruebas para equipos de refrigeración comercial.

3.2.2.8 Carga térmica total de calefacción para la cámara climatizada. Después de realizar el análisis respectivo a cada uno de los cuartos de ensayos y pruebas ubicados en el interior de la cámara acerca de los diferentes factores que aportan calor al ambiente, la carga térmica total para cada uno de los cuartos de pruebas se determinó así:

Tabla 14. Cargas térmicas totales para calefacción de la cámara climatizada

CALCULO CARGAS TÉRMICAS					
Nº	SIMBOLO	NOMBRE	VALOR		
			Ref. Doméstica		Ref. Comercial
1	Qste	Carga por Transmisión de calor a través de techos exteriores	-0,2712	KW	-0,4003 KW
2	Qstpe	Carga por Transmisión de calor a través de Paredes exteriores	-0,5249	KW	-0,6435 KW
3	Qst	Carga por transmisión de calor a través de la pared de división interna	-0,1027	KW	-0,1027 KW
4	Qsi	Carga Sensible por ventilación del aire exterior a la cámara	-12,6950	KW	-19,0425 KW
5	Qsil	Carga Por iluminación en el interior de la cámara	0,4320	KW	0,6480 KW
6	Qse	Carga por equipos o motores ubicados en el interior de la cámara	0,7800	KW	2,7963 KW
7	QLI	Carga Latente por ventilación del aire exterior a la cámara	-10,4835	KW	-15,7252 KW
CARGA TERMICA TOTAL			-22,8653	KW	-32,4700 KW

El resultado de la pérdida de calor obtenida para el cuarto de ensayos de los equipos de refrigeración doméstica es de 22,8653 KW, mientras que para el cuarto de ensayos para equipos de refrigeración comercial es de 32,47 KW.

3.3 SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

De acuerdo con la carga térmica calculada previamente para cada una de las cámaras de pruebas destinadas para los diferentes equipos de refrigeración doméstica o comercial, es necesario seleccionar los diferentes sistemas o equipos para el acondicionamiento del aire que brinden las condiciones atmosféricas requeridas según las respectivas normativas referentes a los métodos de ensayos y pruebas a realizar en el interior de la cámara climatizada.

Para cada una de las variables del aire a controlar dentro de los cuartos de pruebas se debe seleccionar un sistema que abarque cada uno de los rangos de operación establecidos en la sección 2.2. *CONDICIONES INICIALES DE OPERACIÓN*

3.3.1 Selección de los sistemas para la refrigeración del aire. Para obtener las condiciones de baja temperatura del aire en el interior del cuarto, se requieren equipos donde el fluido refrigerante pueda circular por el sistema en estado líquido a temperaturas bajo cero (-7°C aprox.). Para ello se seleccionó un sistema de refrigeración por agua como el fluido refrigerante principal; como el punto de congelación del agua es de 0°C , es necesario adicionarle un anticongelante por medio de una disolución acuosa que modifique dicha temperatura a una más baja según el porcentaje por peso o por volumen del anticongelante disuelto en agua.

Una alternativa como anticongelante es el refrigerante frigorífico Etilenglicol, debido a que logra puntos de congelación a temperaturas muy bajas; normalmente es utilizado en la industria “como anticongelante del circuito de refrigeración de los motores y como diol para la obtención de poliésteres”⁶⁸. De acuerdo con la información de la *Tabla 15*, para una disolución acuosa se seleccionó un porcentaje de Etilenglicol por volumen de agua entre el 15% y el 20% para los circuitos de enfriamiento empleados en la cámara climatizada.

Tabla 15. Punto de congelación para soluciones con Etilenglicol

Freezing Point of Ethylene Glycol Solutions				
% Glycol		Specific Gravity 15.5°C (60°F)	Freezing Point	
By Weight	By Volume		°C	°F
10	9.2	1.013	-3.6	25.6
15	13.8	1.019	-5.6	22.0
20	18.3	1.026	-7.9	17.8
25	23.0	1.033	-10.7	12.8
30	28.0	1.040	-14.0	6.8
40	37.8	1.053	-22.3	-8.2
50	47.8	1.067	-33.8	-28.8
60	58.1	1.079	-49.3	-56.7

Fuente: NOVA-TECH INTERNATIONAL INC. Freezing point determination. Maryland USA. 2017. P. 4. [En línea]. Disponible en: www.novatech-usa.com/core/media/media.nl/id.1588935/c.ACCT119126/.f?h=75143f046e7310496312

⁶⁸ WEISSERMEL, Klaus; ARPE, Hans-Jürgen. Química orgánica industrial. Barcelona, ESPAÑA: Editorial Reverté. S.A. 1981. P. 147.

Cada laboratorio destinado a los ensayos energéticos contará con su sistema de refrigeración independiente; estos sistemas estarán conformados por una enfriadora de agua tipo Chiller de acuerdo con las cargas térmicas de cada cuarto de pruebas, una bomba que permita la circulación del agua y un serpentín de agua que realice el intercambio de calor entre el aire a condicionar y el agua tratada. Este serpentín se encuentra en el interior de una unidad manejadora de aire ubicada en el interior del cuarto de máquinas.

Para el cuarto destinado a los ensayos de Refrigeración doméstica se seleccionó una unidad enfriadora de aire de 5TR, el cual tiene un compresor tipo Scroll para refrigerante R410-A, el cual recoge la carga térmica contenida en el agua; este equipo debe estar ubicado al exterior de la cámara para realizar la extracción de la carga térmica al ambiente. En la *Figura 39* se describen las características técnicas del equipo en detalle.

Figura 40. Ficha técnica Enfriadora de agua 5 TR

DATASHEET

**CHILLER 060KBTU 220/3/60 R410A CONFORTFRESH
SERIE :SOUTH**

air conditioning supplier

BENEFICIOS

- Serpentín De Aluminio- Cobre
- Gabinete En Lamina Gavanizada (Condensadora)
- Excelente Relación Costo -beneficio
- Lamina Con Protección Anticorrosiva Alta Durabilidad
- Facil Instalación Y Mantenimiento
- Descarga Superior
- Garantía Real

Descripción	Unidad	
Capacidad (Enfriamiento, TR)	TR	5
Capacidad (Enfriamiento, Btu/hr)	Btu/h	60000
SEER	---	13
Voltaje / Fase / Frecuencia (V/?/Hz)	V/PH/HZ	220/3/60
Amperaje Nominal (Amp)	Amp	33.5
Caudal De Agua	Gpm	12
Tipo De Refrigerante	---	R410A
Carga Del Refrigerante	Lb	4
Peso Neto	Kg	67
Dimensión Alto	Pulg	30-1/16
Dimensión Ancho	Pulg	30-13/16
Dimensión Profundidad	Pulg	37-3/4
Conexiones De Agua (NPT)	Pulg	3/4 NPT (H)
Compresor (Amperaje RLA)	Amp	20
Motor Ventilador(FLA)	Amp	2
Motor Ventilador (Potencia).	Hp	1/3
Motor Ventilador (Velocidad).	Rpm	1075
Intercambiador De Calor	---	De Placas
Aspa(cantidad)	---	1
Serpentín (Area FT²)	FT²	17.1
Serpentín (Número De Filas)	---	1

Fuente: REFRINORTE S.A.S. Enfriador De Agua Confortfresh Serie South de 5 TR. Barranquilla, CO. 2017. [En línea]. Disponible en: www.refrinorte.com/rnte/pdetalle1.php?equipo1=119&cate=10&subcate=58#

Para el cuarto destinado a los ensayos de Refrigeración comercial se seleccionó una unidad enfriadora de aire de 7,5TR con las características similares a la enfriadora de agua de 5 TR. En la *Figura 40* se describen las características técnicas del equipo en detalle.

Figura 41. Ficha técnica Enfriadora de agua 7.5 TR

DATASHEET

CHILLER 090KBTU 220/3/60 S13 R410A CONFORTFRESH
SERIE :WEST

air conditioning supplier

BENEFICIOS

- Garantía Real
- Descarga Superior
- Facil Instalación Y Mantenimiento
- Lamina Con Protección Anticorrosiva Alta Durabilidad
- Excelente Relación Costo -beneficio
- Gabinete En Lamina Gavanizada (Condensadora)
- Serpentin De Aluminio- Cobre

Descripción	Unidad	
Capacidad (Enfriamiento, TR)	TR	7.5
Capacidad (Enfriamiento, Btu/hr)	Btu/h	90000
SEER	---	13
Voltaje / Fase / Frecuencia (V/?/Hz)	V/PH/Hz	220/3/60
Amperaje Nominal (Amp)	Amp	30.7
Caudal De Agua	Gpm	18
Flujo De Aire (Exterior)	CFM	5800
Tipo De Refrigerante	---	R410A
Carga Del Refrigerante	Lb	--
Peso Neto	Kg	200
Dimensión Profundidad	Pulg	42 15/16
Dimensión Ancho	Pulg	67-1/2
Dimensión Alto	Pulg	65 1/2
Conexiones De Agua (NPT)	Pulg	1 NPT (H)
Compresor (Amperaje RLA)	Amp	26
Compresor (Amperaje LRA)	Amp	190
Motor Ventilador (Potencia).	Hp	3/4
Motor Ventilador(FLA)	Amp	4.7
Motor Ventilador (Velocidad).	Rpm	1075
Intercambiador De Calor	---	De Placas
Aspa(cantidad)	---	1
Serpentin (Área FT²)	FT²	23
Serpentin (Número De Filas)	---	2

Fuente: REFRINORTE S.A.S. Enfriador De Agua Confortfresh Serie South de 5 TR. Barranquilla, CO. 2017. [En línea]. Disponible en: www.refrinorte.com/rnte/p_detalle1.php?equipo1=123&cate=10&subcate=58#

Para la impulsión de agua se seleccionaron dos bombas de rotor periférico para caudales bajos y ubicadas en superficie para cada una de las unidades enfriadoras de agua según los caudales requeridos y el rango de las temperaturas del agua, la bomba seleccionada para el sistema de enfriamiento para el cuarto de refrigeración doméstica es de un caudal de agua máximo de 50 L_{/min} (13.2086 GPM), mientras

que la bomba seleccionada para el cuarto de refrigeración comercial tiene un caudal máximo de 70 L/min (18,4921 GPM).

Figura 42. Ficha técnica bombas centrífugas para agua

<p>CP 0.37-2.2 kW Electrobombas centrífugas</p>	<p>Descripción</p>
	<p>Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba.</p> <p>Por su confiabilidad y simplicidad encuentran un amplio uso en el sector doméstico y civil, particularmente para la distribución del agua acopladas a pequeños o medianos tanques autoclaves, para el vaciado o para la irrigación de huertos o jardines.</p> <p>La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.</p>
<p>Campo de prestaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caudal hasta 160 l/min (9,6 m³/h) • Altura manométrica hasta 57 m <p>Límites de empleo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del líquido de -10 °C hasta +90 °C • Temperatura ambiente hasta +40 °C • Altura de aspiración manométrica hasta 7 m • Presión máx. en el cuerpo de la bomba: <ul style="list-style-type: none"> - 6 bar para CP 100-130-132-150-158 - 10 bar para CP 170-190-200 • Funcionamiento continuo S1 	<p>Características</p> <p>Tipo: agua limpia</p> <p>Aplicaciones: doméstico, civil</p> <p>Usos: abastecimiento de agua, sistemas de presión, irrigación, transferencia de agua</p> <p>Tipología: superficie</p> <p>Familia: centrífugas</p>

Fuente: PEDROLLO S.A. Electrobombas centrífugas. Bogotá D.C. CO. 2017 [En línea].
 Disponible en: www.pedrollo.com.co/es/cp-037-22-kw-electrobombas-centrifugas/245.
 Modificada por el autor.

3.3.2 Diseño y selección de los sistemas para la calefacción del aire. Para obtener las condiciones de alta temperatura del aire en el interior de los laboratorios, se requiere de unos equipos donde el fluido refrigerante pueda circular por el sistema en estado líquido a las temperaturas requeridas (50°C aprox.). Para ello se diseñó un sistema de calefacción por agua como el fluido refrigerante principal.

Al igual que los sistemas de refrigeración, cada laboratorio destinado a los ensayos energéticos contará con su sistema de calefacción independiente; estos sistemas estarán conformados por una caldera de agua seleccionada de acuerdo con las cargas térmicas por calefacción de cada cuarto de pruebas, un tanque de almacenamiento para el agua a alta temperatura, una bomba que permita la circulación del agua y un serpentín de agua que realice el intercambio de calor entre el aire a condicionar y el agua tratada. Este serpentín se encuentra en el interior de una unidad manejadora de aire ubicada en el interior del cuarto de máquinas.

Para los dos cuartos destinado a los ensayos y pruebas energéticas, se seleccionó un calentador de agua a gas con una potencia térmica regulable, siendo su máxima capacidad térmica de 40 kW y con una capacidad de 30 L/min como caudal máximo de agua a calentar para cada laboratorio; este equipo debe estar ubicado al exterior de la cámara para realizar la extracción de los gases de combustión al ambiente por medio de un ducto de extracción. En la *Figura 42* se describen las principales características técnicas del calentador de agua.

Figura 43. Ficha técnica calentador de agua a gas

Información Técnica	
Especificaciones	
Capacidad	Hasta 30 l/min
Potencia (a 2600 m.s.n.m.)	5.5 a 40.0 kW
Potencia (a 0 m.s.n.m.)	5.5 a 52.5 kW
Eficiencia	96%
Consumo Gas natural	4.2 m ³ /h*
Consumo Gas propano	3.5 Kg/h*
Consumo eléctrico	112 W (max)/7.1 W (Stand by)
Presión de agua	0.3 a 12.0 Bar
Caudal de agua	1.9 a 30 l/min
Max. Temperatura de agua	84°C
Altura	775 mm
Ancho	452 mm
Profundidad	285 mm
Peso	34 kg
Niveles de sonido	59 db (A)*

* A la máxima potencia

Fuente: BOSH TERMOTECNOLOGÍA. Caldera Therm 8000S. Bogotá D.C. CO. 2017. [En línea]. Disponible en: www.bosch-climate.co/productos-bosch-industriales/bosch-productos-comerciales/calentador-de-alto-litraje/caldera-therm-8000-s.html. Modificada por el autor.

Este calentador debe contar con un tanque de almacenamiento de agua caliente, este tanque debe estar aislado del ambiente para evitar pérdidas de calor durante el proceso de calefacción. Para los sistemas de calefacción empleados en la cámara climatizada se realizó una selección inicial de dos tanques con una capacidad de almacenamiento de 120 L con el objetivo de garantizar la cantidad de agua requerida para el correcto funcionamiento del sistema.

Figura 44. Ficha técnica tanque acumulador de agua

Tanque monovalente

Tanque de Acumulación de Agua



Información del producto

- Los tanques se destacan por sus interiores termo vitrificados, fabricados en acero rolado y con uniones soldadas, incluye ánodo de magnesio que evita la acumulación de sales.
- Almacenamiento desde 120 L hasta 1,000 L y pueden ser conectados en cascada para obtener mayores volúmenes de acumulación.

Características

- Preparado para conectar la recirculación del agua de retorno de servicios.
- Termopozo incorporado para insertar el sensor de temperatura.
- Provisto de registro superior e inferior para facilitar el mantenimiento.
- Interacumulador vertical con capacidad de almacenamiento de agua: 160, 200, 300, 400, 500, 750 y 1,000 lts.
- Incorpora un ánodo de magnesio.

BOSCH
Innovación para tu vida

Fuente: BOSH TERMOTECNOLOGÍA. Tanque monovalente: Tanque de acumulación de agua. Bogotá D.C. CO. 2017. [En línea]. Disponible en: www.bosch-climate.mx/productos-bosch-industriales/bosch-productos-comerciales/tanques-de-acumulacion-de-agua/tanques-monovalentes.html. Modificada por el autor.

Para la impulsión de agua se seleccionaron dos bombas centrifugas de superficie para cada succión del tanque de acumulación, según los caudales requeridos y el rango de las temperaturas del agua, la bomba seleccionada para los sistemas de calefacción de los cuartos de pruebas tiene un caudal de agua máximo de 1.8 m³/s (30 L/min - 7,9252 GPM).

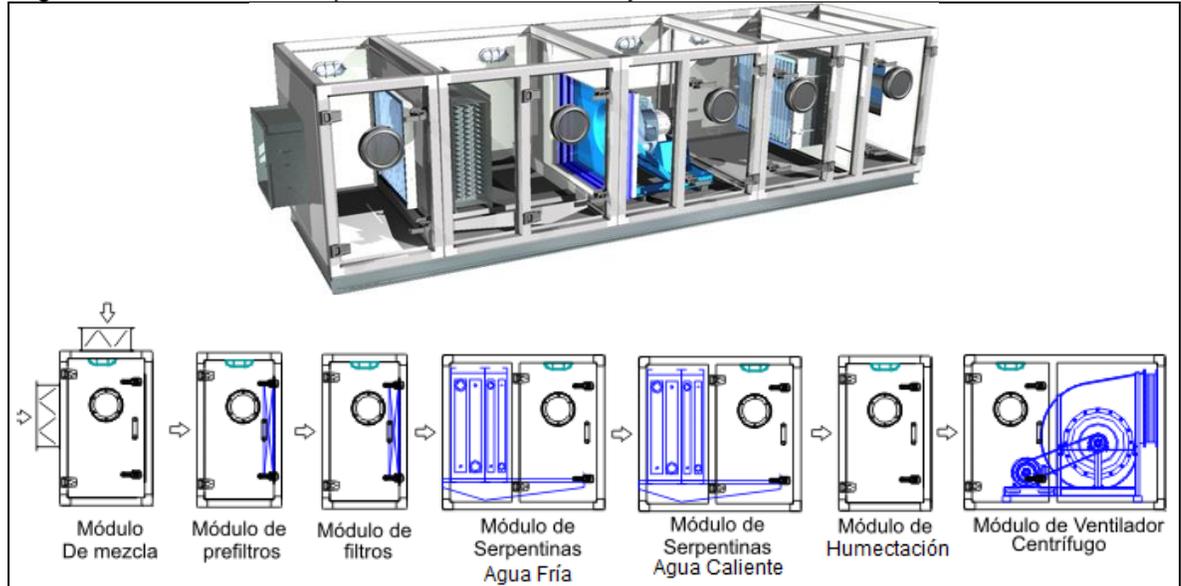
3.3.3 Diseño y selección de la unidad manejadora de aire. Un sistema adecuado para lograr las condiciones de un ambiente controlado es por medio de un climatizador o una unidad manejadora de aire, pues “son equipos de tipo modular, con los que puede conseguirse un aire a medida”⁶⁹; es decir que hay un módulo diseñado a condicionar una variable del aire como la temperatura, humedad, velocidad o limpieza del aire.

De acuerdo con las capacidades térmicas de enfriamiento (5TR y 7,5 TR) y calefacción (22,8653 KW y 32,47 KW) junto con los rangos de las variables que deben poder controlarse en la cámara climatizada, se diseñó la manejadora con los siguientes módulos de acondicionamiento del aire:

⁶⁹ MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Barcelona, España: Marcombo, 2008. P. 152.

- Módulo de Mezcla, el cual recibe una cantidad de aire de retorno y lo mezcla con una cantidad de aire exterior que ingresa al sistema, con el objetivo de realizar una renovación del aire tratado y así mismo mantener presiones positivas en el sistema. Este módulo debe contar con compuertas o *Dampers* que regulen los porcentajes de aire exterior y de retorno.
- Módulo de filtros y prefiltros, que realizan una limpieza del aire que se desea tratar eliminando partículas y suciedades contenidas en el aire mezclado que ingresa al sistema. Debido a que no se requiere una limpieza extrema del aire, los pre filtros seleccionados para el módulo son de categoría MERV 8, y los filtros de categoría MERV 13 según su aplicación.
- Módulo de serpentín para agua fría, por el cual pasa agua helada para enfriar, por el método de convección, el aire que circula por la manejadora; la eficiencia de enfriamiento se debe principalmente al número de serpentines que tiene el intercambiador. Para el sistema de la cámara climatizada, este serpentín va conectado a la enfriadora de agua tipo Chiller previamente seleccionada.
- Módulo de serpentín para agua caliente, por el cual pasa agua caliente para calentar, por el método de convección, el aire que circula por la manejadora o como deshumectador del aire cuando trabaja en conjunto con el serpentín de enfriamiento. Para el sistema de la cámara climatizada, este intercambiador va conectado al calentador de agua y al tanque de almacenamiento previamente seleccionados.
- Módulo de humificación, el cual opera a través de un generador de vapor que aumenta la cantidad de agua contenida en el ambiente; este módulo generalmente se encuentra en paralelo con los serpentines de agua y por medio de un desvío toma una parte del aire tratado y lo humecta para posteriormente mezclarlo con el aire que sale de los intercambiadores de calor. El humidificador del sistema seleccionado para el sistema debe tener una capacidad de 0,00126 Kg/s (10 Lb/h).
- Módulo de ventilación, en donde se realiza el suministro del aire ya con las condiciones requeridas a la zona a climatizar; generalmente se emplea un ventilador centrífugo para realizar la descarga del aire de forma horizontal. El ventilador seleccionado para la unidad manejadora de aire es debe abastecer un caudal de aire mínimo de 635,6646 CFM (0,3 m³/s) para el cuarto de refrigeración doméstica, mientras que el caudal de aire a suministrar para el cuarto de refrigeración comercial es de mínimo 953,4969 CFM (0,3 m³/s).

Figura 45. Modulación para la Unidad Manejadora de aire



Fuente: GENTILE MONTAJES S.R.L. Unidades Manejadoras de aire. Buenos aires. AR. [En línea]. Disponible en: www.gentilesrl.com.ar/airemodular.php. Modificada por el autor.

4. CONTROL AUTOMÁTICO DEL SISTEMA

El control de las diferentes unidades y equipos que componen el sistema de climatización de la cámara climatizada es muy importante para obtener las condiciones requeridas del aire, pues la correcta automatización y control de cualquier sistema conlleva la fiabilidad y seguridad de cualquier proceso industrial⁷⁰.

Para el control del sistema general de climatización a emplear es necesario tener presentes los rangos de operación de la cámara y el proceso requerido para alcanzar cualquier condición del aire en el interior de los cuartos de ensayos; por lo tanto, se definieron los sistemas de control para cada sistema involucrado en el proyecto de climatización.

4.1 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR PLANTA DE AGUA HELADA

Para el control de los sistemas de refrigeración por agua helada, es necesario conocer el principio de funcionamiento de los equipos involucrados en el circuito de enfriamiento para así mismo determinar los sensores y actuadores que regulen su funcionamiento según lo requeridas.

4.1.1 Funcionamiento del sistema. El procedimiento de producción de agua helada para la refrigeración del aire del cuarto de ensayos a equipos de refrigeración doméstica requiere de una unidad enfriadora de agua de alta eficiencia con una capacidad de enfriamiento de 5 TR para un caudal de agua de 2,7252 m³/h (45,42 l/min -12 GPM); esta unidad se ubicará en el exterior de la cámara climatizada y deberá suministrar una mezcla de agua y anticongelante (Etilenglicol) al serpentín evaporador de la manejadora de aire a una temperatura mínima de -5°C y retornando a 0°C aproximadamente. El agua será impulsada por medio de una electrobomba de rotor periférico con el flujo de agua ya mencionado.

El funcionamiento del sistema empleado para el laboratorio de ensayos de los equipos de refrigeración comercial es similar, pero es importante tener en cuenta que la capacidad de enfriamiento de la enfriadora de agua destinada para este cuarto es de 7,5 TR y maneja un caudal de agua de 4,0878 m³/h (68,13 l/min - 18 GPM)

4.1.2 Sensores y actuadores. Para realizar el control de las condiciones de operación de planta de agua helada, se deben especificar las señales de entrada a partir de sensores de medición y las señales de salida como los actuadores de los equipos instalados.

⁷⁰ BALBOA, Joan. Manual de instalaciones frigoríficas (4a. ed.). Barcelona, ES: Cano Pina S.L. Ediciones Ceysa. 2012. P. 141

- Para determinar la temperatura del agua en el sistema se deben emplear sensores de inmersión o termoposos, los cuales estarán ubicados en los puntos de suministro y retorno de la enfriadora tipo Chiller, como también a la entrada y salida del intercambiador de calor ubicado en la manejadora de aire.
- La presión del sistema se comprueba a través de un diferencial de presión, los cuales estarán ubicados en el suministro de agua de la enfriadora como en el retorno de la misma, de igual manera se instalarán en el serpentín para el agua helada.
- El caudal de agua que suministra la electrobomba se regulará a través de un variador de frecuencia que permita aumentar o disminuir el flujo de agua que ingresa al Chiller. Esta variable se determina con un caudalímetro ubicado en el interior de la tubería, preferiblemente en el trayecto entre la salida de la bomba y el retorno de la enfriadora de agua.
- Se debe contar con un sistema By-Pass en la red de tubería de agua helada, con el fin de poder estabilizar el sistema cuando las condiciones de operación no se encuentren en los rangos permitidos; para ello se requiere de una válvula proporcional de tres vías la cual comunica el agua suministrada por el Chiller al serpentín evaporador o al sistema del By-Pass.
- Cada equipo que conforma el sistema de refrigeración debe contar con un programador de encendido y apagado automático controlado por los sensores mencionados, debido a que se pueden sobrepasar los valores permitidos en un rango de operación preestablecido.
- Finalmente se deben instalar unas alarmas por fallas, pues es importante detener el sistema y alertar al usuario de una posible falla o error de funcionamiento.

4.1.3 Señales para el sistema de refrigeración. Para determinar el panel controlador del sistema, es importante conocer la cantidad y el tipo de señales que se requieren para su correcta automatización; la cantidad de entradas y salidas disponibles en el controlador debe ser superior a las requeridas por el sistema, con el fin de prever una expansión del sistema a futuro. En el *Cuadro 10* se describe el tipo y la cantidad de señales de entrada y salida requeridas según los sensores y actuadores ubicados en el interior del circuito de agua fría.

Cuadro 10. Señales para el sistema de refrigeración por agua helada

PLANTA DE AGUA HELADA							
EQUIPO	SEÑAL		ENTRADA		SALIDA		
			Análoga	Binaria	Análoga	Binaria	
Unidad Enfriadora de Agua tipo Chiller	On/Off					1	
	Caudal de Agua		1				
	Temperatura del Agua en el Suministro		1				
	Temperatura del Agua en el Retorno		1				
	Delta de Presión	Presión de Agua en el Suministro	1				
Presión de Agua en el Retorno							
Alarma por Falla						1	
Bomba de Agua	On/Off					1	
	Variador de Frecuencia				1		
	Sensor de Estado	Presión de Agua en el Suministro	1				
		Presión de Agua en el Retorno					
	Alarma por Falla						1
Intercambiador de Calor de Agua Helada	Delta de Presión	Presión de Agua en el Suministro	1				
		Presión de Agua en el Retorno					
By - Pass	Válvula Proporcional Tres Vías					1	
TOTAL DE SEÑALES REQUERIDAS			6	0	1	5	

4.2 SISTEMA DE CALEFACCIÓN POR PLANTA DE AGUA CALIENTE

Para el control de los sistemas de refrigeración por agua caliente, es necesario conocer el principio de funcionamiento de los equipos involucrados en el circuito de calentamiento para así mismo determinar los sensores y actuadores que regulen su funcionamiento según las condiciones requeridas.

4.2.1 Funcionamiento del sistema. Para la producción de agua caliente empleada para la calefacción del aire del cuarto de ensayos de unidades de refrigeración doméstica se requiere un calderín de alta eficiencia con una capacidad mínima de calentamiento de 22,87 KW para un caudal de agua máximo de 30 Lts/min (7,93 GPM); esta unidad se ubicará en el exterior de la cámara climatizada debido a la emisión de los gases de combustión; esta máquina debe suministrar agua caliente a una temperatura aproximada a los 50°C la cual es enviada a un tanque de almacenamiento totalmente aislado. El agua será succionada por medio de una electrobomba de rotor periférico con el flujo ya mencionado hasta llegar al serpentín de agua caliente donde cede energía al aire que circula a través del intercambiador para posteriormente retornar al sistema a una temperatura de 25°C aproximadamente.

El funcionamiento del sistema empleado para el laboratorio de ensayos de los equipos de refrigeración comercial es el mismo, al igual que el mismo tipo de calderín de agua, la carga térmica para este cuarto es de 31,47 KW y la capacidad térmica máxima del equipo es de 40KW para un caudal de agua de 30 Lts/min.

4.2.2 Sensores y actuadores. Para realizar el control de las condiciones de la planta de agua a alta temperatura, se deben especificar las señales de entrada a partir de sensores de medición y las señales de salida como los actuadores de los equipos instalados.

- Para determinar la temperatura del agua en el sistema se deben emplear sensores de inmersión o termoposos, estos deben estar ubicados en los puntos de suministro y retorno del calderín de agua, como también a la entrada y salida del intercambiador de calor ubicado en la manejadora de aire.
- La presión del sistema se comprueba a través de un diferencial de presión, instrumentos que estarán ubicados en el suministro de agua del calentador y en el retorno del mismo, del mismo modo se instalarán en el serpentín de agua caliente.
- El caudal de agua que succiona la electrobomba del tanque de acumulación se regulará a través de un variador de frecuencia que permita aumentar o disminuir el flujo de agua que ingresa al calentador de agua. Esta variable se determina con un caudalímetro ubicado en el interior de la tubería, preferiblemente en el trayecto entre la salida de la bomba y la entrada a la válvula proporcional de tres vías.
- Se debe contar con un sistema By-Pass en la red de tubería de agua caliente, con el fin de poder estabilizar el sistema cuando las condiciones de operación no se encuentren en los rangos permitidos; para ello se requiere una válvula proporcional de tres vías la cual comunica el agua succionada por la motobomba al serpentín evaporador o al sistema del By-Pass.
- Cada equipo que conforma el sistema de calefacción debe contar con un programador de encendido y apagado automático controlado por los sensores mencionados, debido a que se sobrepasan los valores permitidos en un rango de operación preestablecidos.
- Finalmente se deben instalar unas alarmas por fallas, pues es importante detener el sistema y alertar al usuario de una posible falla o error de funcionamiento.

4.2.3 Señales para el sistema de Calefacción. Los módulos de control se seleccionaron de acuerdo con la cantidad de sensores y actuadores requeridos para su correcta operación, en la *Cuadro 11* se describen los tipos de sensores y actuadores junto con la cantidad requerida para su automatización.

Cuadro 11. Señales para el sistema de calefacción por agua caliente

PLANTA DE AGUA CALIENTE						
EQUIPO	SEÑAL		ENTRADA		SALIDA	
			Análoga	Binaria	Análoga	Binaria
Calderín de Agua	On/Off					1
	Temperatura del Agua en el Suministro		1			
	Temperatura del Agua en el Retorno		1			
	Delta de Presión	Presión de Agua en el Suministro		1		
Presión de Agua en el Retorno						
Alarma por Falla					1	
Tanque de Almacenamiento	Temperatura del Agua dentro del Tanque		1			
	Volumen del Agua dentro del Tanque		1			
	Presión de Agua en el Suministro		1			
Bomba de Agua	On/Off					1
	Variador de Frecuencia				1	
	Sensor de Estado	Presión de Agua en el Suministro		1		
		Presión de Agua en el Retorno				
Caudal de Agua		1				
Alarma por Falla					1	
Intercambiador de Calor de Agua Caliente	Delta de Presión	Presión de Agua en el Suministro	1			
		Presión de Agua en el Retorno				
By - Pass	Válvula Proporcional Tres Vías					3
TOTAL DE SEÑALES REQUERIDAS			7	2	1	7

4.3 MANEJADORA DE AIRE Y CUARTO DE PRUEBAS

Finalmente, para el control de la Unidad Manejadora y el aire en circulación dentro de los cuartos de ensayos es importante determinar el principio de operación de módulos seleccionados para el acondicionamiento del ambiente requerido, así mismo determinar los sensores y actuadores que regulen su funcionamiento según las señales recibidas de los sensores instalados en el interior de las salas de pruebas.

4.3.1 Funcionamiento del sistema. La Unidad Manejadora de Aire es el equipo más importante dentro del sistema de climatización para los cuartos de pruebas, debido a que por medio de sus módulos de operación se obtienen las condiciones requeridas del ambiente en el interior de los laboratorios; este sistema opera a través de la succión del aire que retorna del interior de los cuartos de pruebas a una temperatura aproximada de 5°C cuando es refrigeración y a 42°C cuando es calefacción, este aire es mezclado con una cantidad determinada de aire exterior, entre el 15% y el 20% del aire total, donde es acondicionado según las condiciones del aire requeridas.

Inicialmente el aire debe circular por los pre filtros y filtros de limpieza para retener partículas y suciedades contenidas en el, posteriormente un porcentaje del aire se desvía al sistema de humidificación para ser saturado por la cantidad de vapor requerida, mientras que el aire restante atraviesa los serpentines de refrigeración y calefacción para realizar un intercambio de calor entre los sistemas de agua en circulación y el aire dependiendo, si se desea calentar, enfriar o deshumidificar. Finalmente se realiza de nuevo la mezcla del aire a la temperatura y humedad relativa deseada para que el ventilador lo suministre por medio de ductos a la zona a climatizar.

El retorno del aire a la Unidad manejadora se debe realizar a través de una succión usando un ventilador ubicado en el ducto de salida del aire. El funcionamiento del sistema empleado para el laboratorio de ensayos de los equipos de refrigeración comercial es el mismo, debido a que el rango de temperaturas de los dos laboratorios es similar.

4.3.2 Sensores y actuadores. Para realizar el control de las condiciones del aire en el interior de la cámara climatizada, se deben especificar las señales de entrada a partir de sensores de medición y las señales de salida como los actuadores de los equipos instalados.

- Para verificar el estado y funcionamiento de los prefiltros y filtros del aire en la unidad manejadora de aire, se debe de emplear un sensor diferencial de presión del aire a la entrada y salida de los paneles de filtración.
- Para determinar la temperatura de suministro y retorno del aire a la unidad manejadora, se deben utilizar sensores de temperatura ubicados en la entrada y salida de cada módulo donde se encuentran los intercambiadores de calor.
- La temperatura del aire en el interior de los cuartos de pruebas de la zona a climatizar se mide a través de un termostato de zona, el cual debe tener una exactitud en la medición de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Cada equipo que se desee evaluar dentro de la cámara debe contar con un sensor de temperatura el cual debe estar

ubicado según las normas internacionales establecidas para los ensayos energéticos.

- La humedad relativa en el aire se controla a través de un generador de vapor con una capacidad aproximada de $10 \text{ L}^b/\text{min}$, este sistema debe tener un actuador de encendido y apagado controlado por un sensor de zona, el cual debe tener una exactitud en la medición de $\pm 1\%$ HR y debe estar ubicado en el interior de los cuartos de pruebas. Cada equipo que se desee evaluar dentro de la cámara debe contar con un sensor de humedad el cual debe estar ubicado según las normas internacionales establecidas para los ensayos energéticos.
- La presión del aire en el sistema se comprueba a través de un diferencial de presión, estos estarán ubicados a la entrada del módulo de mezcla del aire de retorno con el aire exterior, y en el módulo de suministro del aire ya climatizado.
- El caudal de aire en el sistema es regulado por el ventilador centrífugo, el cual debe contar con un variador de velocidad que permita variar las revoluciones de giro de las aspas; esta unidad es gobernada por el sensor de velocidad ubicado en el interior de los cuartos de pruebas.
- La cantidad de aire de entrada en el sistema debe ser controlada por una compuerta de paso tipo Dámper con un actuador gradual de apertura y cierre.
- Finalmente se deben instalar unas alarmas por fallas, pues es importante detener el sistema y alertar al usuario de una posible falla o error de funcionamiento en la unidad manejadora de aire.

4.3.3 Señales para la unidad manejadora de aire. Los módulos de control se seleccionaron de acuerdo con la cantidad de sensores y actuadores requeridos para su correcta operación, en la *Cuadro 12* se describen los tipos de sensores y actuadores junto con la cantidad requerida para la automatización de la manejadora de aire.

Cuadro 12. Cuadro de señales para la unidad manejadora del aire y el ambiente de los cuartos de pruebas

CAMARÁ CLIMATIZADA - MANEJADORA DE AIRE						
MANEJADORA DE AIRE						
MÓDULO	SEÑAL		ENTRADA		SALIDA	
			Análoga	Binaria	Análoga	Binaria
Mezcla Aire Exterior - Aire de Retorno	Compuerta tipo Damper para el ingreso del aire exterior al sistema				1	
Pre-filtros y Filtros	Estado de Filtros	Presión del Aire en la Entrada		1		
		Presión del Aire en la Salida				
	Alarma de los Filtros					1
Intercambiador de Calor de Agua Fría	Temperatura del Aire en la Entrada		1			
	Temperatura del Aire en la Salida		1			
	Valvula Reguladora de Flujo de Agua				1	
Intercambiador de Calor de Agua Caliente	Temperatura del Aire en la Entrada		1			
	Temperatura del Aire en la Salida		1			
	Valvula Reguladora de Flujo de Agua				1	
Humidificador de Aire	On/Off					1
Ventilación y Suministro de Aire	Estado del Vent.	Presión del Aire en la Entrada		1		
		Presión del Aire en la Salida				
	Variador de Frecuencia				1	
		On/Off				1
CÁMARA CLIMATIZADA						
Zona de Ensayos energéticos	Termóstato de Zona	Temperatura Bulbo Seco del Aire	1			
		Temperatura Bulbo Humedo del Aire				
	Humedad Relativa del Aire en la Zona		1			
	Velocidad del Aire en la Zona		1			
Ductos de Ventilación	Caudal de Aire en el Suministro		1			
	Caudal de Aire en el Retorno		1			
TOTAL DE SEÑALES REQUERIDAS			9	2	4	3

4.4 CONTROLADORES

De acuerdo con los sensores y actuadores seleccionados para el control de los sistemas de refrigeración, calefacción y manejo de aire en la cámara climatizada, se seleccionó un controlador tipo PLC junto con 3 módulos de expansión de las referencias descritas en la *Tabla 16*, donde se establece la capacidad de conexiones de entrada y salidas de cada unidad y se comparan con las señales requeridas para el sistema de climatización.

Tabla 16. Controladores para la planta de agua helada

SELECCIÓN DE LOS CONTROLADORES	SALIDAS			ENTRADAS	
	Binario	Universal	Analogica	Universal	Binaria
Planta de Agua Helada	5	0	1	5	0
Planta de Agua Caliente	7	0	1	5	2
Unidad manejadora de aire y Zona laboratorios	3	0	4	6	2
Señales Extras	0	6	0	6	2
TOTAL	15	6	6	22	6
CONTROLADORES					
FX-PCA2611	3	4	2	8	6
FX-PCX4711	3	0	2	6	2
FX-PCX3731	8	0	0	0	8
FX-PCX3711	1	3	0	4	0
FX-PCX2721	0	0	2	8	0
USADAS	15	7	6	26	16
DISPONIBLES	0	1	0	4	10

4.5 CONTROL DE LOS SISTEMAS Y ADQUISICIÓN DE DATOS PARA LA TELEMETRÍA

Cada sistema que compone el proceso de climatización del aire para los cuartos de pruebas y ensayos energéticos ubicados en el interior de la cámara climatizada debe ser monitoreado durante su operación, cada variable debe ser supervisada y controlada en tiempo real según los rangos o parámetros programados, con el objetivo de garantizar el funcionamiento a plenitud durante el tiempo requerido para la ejecución de las pruebas de eficiencia energética.

Los subsistemas deben contar con su propio módulo de control o PLC (Línea PCA) junto con sus módulos de extensión (Línea PCX), el cual debe ser programado para controlar las variables del ambiente interior de acuerdo con los rangos de operación previamente establecidos; estos módulos se pueden controlar a través de un supervisor ubicado en la zona donde se encuentra el tablero eléctrico con los PLC's que gobiernan el sistema para definir las condiciones del aire requeridas en cada cuarto de pruebas.

La lógica de control se basa en las señales de entrada que emiten los diferentes sensores de medición de la temperatura, humedad y velocidad del aire en el interior de los cuartos de pruebas, los cuales hacen un comparativo entre los valores requeridos y los que presenta el aire en el interior de los laboratorios, para así realizar un control exacto de la temperatura y la velocidad de circulación del agua para la refrigeración o calefacción del aire; también con la medición de la humedad

relativa contenida en el aire se puede humidificar o deshumidificar el aire a controlar con un humidificador de aspersión. Finalmente, la velocidad de circulación del aire se controla con un variador de frecuencia el cual controla las revoluciones de giro del ventilador de suministro de aire de acuerdo con la señal de entrada emitida por un anemómetro en zona que censa el flujo de aire en los cuartos de pruebas.

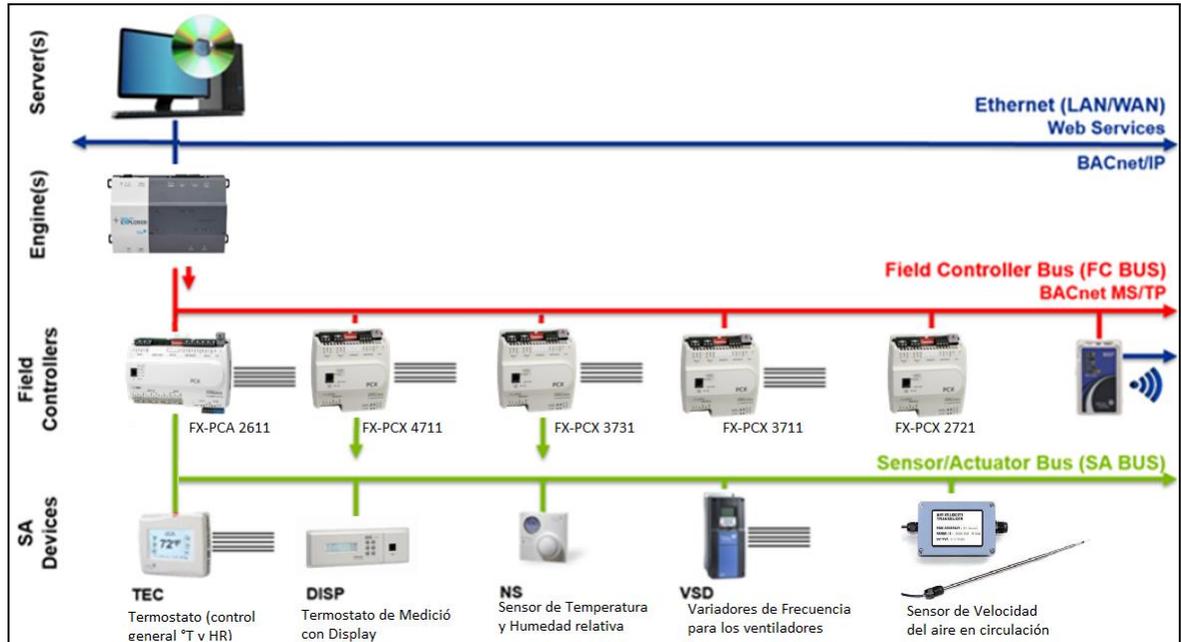
Es importante utilizar un computador en simultaneo donde además de realizar el monitoreo y control del todo el sistema de acondicionamiento de aire, se recopilen la información y los datos de medición solicitados para la evaluación de los equipos de refrigeración doméstica y comercial. Para ello este equipo debe contar con un software o programa computacional que reúna las mediciones obtenidas durante los ensayos y transmitirlos a los clientes o fabricantes de los equipos en evaluación en tiempo real con el uso de la telemetría.

Un sistema de telemetría “consta de un transductor como un dispositivo de entrada, un medio de transmisión en forma de líneas de cable o las ondas de radio, dispositivos de procesamiento de señales, y dispositivos de grabación o visualización de datos”⁷¹, estos datos son recibidos en el computador desde los sensores de medición en forma de señal eléctrica donde el rango de voltaje representa el rango de medición de la variable del ambiente interno a controlar.

El computador de programación y monitoreo del proceso debe estar conectado con los módulos controladores de las unidades empleadas para la climatización por medio de un cable de comunicación entre los equipos de campo BACnet - IP que se comunican en redes Ethernet IP, ayudando a mejorar el rendimiento de la red y el ancho de banda y facilitando las integraciones. A medida que se van recopilando los datos requeridos para la evaluación de medición energética en el ordenador principal, estos se van transmitiendo en tiempo real al fabricante del equipo de refrigeración en ensayo de acuerdo con el tipo de ensayo en ejecución.

⁷¹ RADIO COMUNICACIONES. RADIO & ENGINEERING COMPANY SL; RUESCA, Pedro. Telemetría – Aplicaciones a media distancia. 2016 [En línea]. Disponible en: www.radiocomunicaciones.net/radio/telemetria/

Figura 46. Esquema de conexión electrónica para el control de los sistemas de climatización



Fuente: HVAC OVERVIEW. (16-17, noviembre, 2017: Bogotá, Colombia). Johnson Controls. [Diapositivas]. 2017. P.125. Modificada por el autor.

5. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

Las evaluación y determinación de los costos se determinó de acuerdo a la selección realizada en el diseño final, involucrando la infraestructura del cuarto, los equipos y materiales en general que conforman el sistema de climatización; así mismo se evaluaron los costos referentes a la mano de obra civil e instalación de los elementos que componen la cámara climatizada.

5.1 COSTOS DE INFRAESTRUCTURA Y CONSTRUCCIÓN

El costo de la infraestructura de la cámara climatizada se debe a los materiales requeridos para su construcción incluyendo accesorios como las puertas de acceso y las lámparas de iluminación. En la *Tabla 17* se describen los diferentes precios de adquisición por unidad de los paneles de poliuretano expandido tipo sándwich para el armado de las paredes, piso y techos de la cámara junto con los accesorios de construcción, la tubería empleada para las dos estructuras de los pisos internos y las lámparas de iluminación de cada sala.

A diferencia de los paneles empleados para el armado de las paredes, techos y pisos soportados por las estructuras, los cuales se encuentran reforzados con una lámina de acero galvanizado, el aislamiento empleado para el piso general formado en hormigón será la espuma de poliuretano desnuda, donde la tela asfáltica será la capa de protección de la espuma del aislamiento.

El costo total de la infraestructura o los materiales constructivos de la cámara climatizada es de \$86'088.396 COP incluyendo el Impuesto al Valor Agregado – IVA; se determinó que es un precio bajo en comparación a la cifra establecida por la Unidad de planeación Minero – Energética – UPME, donde la inversión requerida en la infraestructura y construcción de un laboratorio especializado en pruebas y ensayos de los artefactos de refrigeración doméstica y comercial es de \$50'000.000 COP aproximadamente ⁷², considerando que se establecieron dos áreas distintas para el desarrollo de las pruebas normalizadas en refrigeración doméstica y comercial además de la cantidad de equipos que se van a evaluar en simultaneo.

⁷² UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). P. 217.

Tabla 17. Costos de Infraestructura

ITEM	REFERENCIA	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL	
PANELES DE CONSTRUCCIÓN Y ACCESORIOS					
1	Piso General Cámara Climatizada (Panel Desnudo 1X9,3m espesor 3") con Tela Asfáltica	IRPI0050	\$ 63.000	93 ml	\$ 5.859.000
2	Piso Cuarto Ref. Domestica (Panel 1X6m espesor 4")	IRMOPI0016	\$ 111.000	36 ml	\$ 3.996.000
3	Piso Cuarto Ref. Comercial (Panel 1X6m espesor 4")	IRMOPI0017	\$ 111.000	24 ml	\$ 2.664.000
4	Pared Frontal Cámara Climatizada (Panel 1X4,2m espesor 4")	IRMOPI0018	\$ 111.000	37,8 ml	\$ 4.195.800
5	Pared Exterior Ref. Doméstica (Panel 1X4,2m espesor 4")	IRMOPI0019	\$ 111.000	16,8 ml	\$ 1.864.800
6	Pared Exterior Ref. Doméstica (Panel 1X4,2m espesor 4")	IRMOPI0020	\$ 111.000	25,2 ml	\$ 2.797.200
7	Pared Exterior Cuarto Máquinas (Panel 1X4,2m espesor 4")	IRMOPI0021	\$ 111.000	12,6 ml	\$ 1.398.600
8	Pared Interior Ref. Doméstica y Comercial (Panel 1X4,1m espesor 4")	IRMOPI0022	\$ 111.000	24,6 ml	\$ 2.730.600
9	Pared Interior Cuarto Máquinas (Panel 1X4,1m espesor 4")	IRMOPI0023	\$ 111.000	12,3 ml	\$ 1.365.300
10	Pared Posterior Cuarto Ref. Doméstica (Panel 1X3,6m espesor 4")	IRMOPI0024	\$ 111.000	21,6 ml	\$ 2.397.600
11	Pared Posterior Cuarto Ref. Comercial (Panel 1X3,6m espesor 4")	IRMOPI0025	\$ 111.000	14,4 ml	\$ 1.598.400
12	Pared Posterior Cámara Climatizada (Panel 1X4,2m espesor 4")	IRMOPI0026	\$ 111.000	46,2 ml	\$ 5.128.200
13	Techo Interior Cuarto Ref. Doméstica (Panel 1X5,8m espesor 4")	IRMOPI0027	\$ 111.000	23,2 ml	\$ 2.575.200
14	Techo Interior Cuarto Ref. Comercial (Panel 1X5,8m espesor 4")	IRMOPI0028	\$ 111.000	34,8 ml	\$ 3.862.800
15	Techo Exterior Cuarto Ref. Doméstica y Comercial (Panel 1X6m espesor 4")	IRMOPI0029	\$ 111.000	66 ml	\$ 7.326.000
16	Techo Exterior Cuarto Máquinas (Panel 1X3m espesor 4")	IRMOPI0030	\$ 111.000	33 ml	\$ 3.663.000
17	Sistema Puerta Corrediza Cuarto Ref. Doméstica (Panel 2,8X3m espesor 3")		\$4.800.000	1 Und	\$ 4.800.000
18	Sistema Puerta Corrediza Cuarto Ref. Comercial (Panel 2,8X4m espesor 3")		\$5.500.000	1 Und	\$ 5.500.000
19	Sistema Puerta Batiente Cuarto Máquinas (Panel 1,9X0,95m espesor 4")	IRPUS02422	\$1.660.000	2 Und	\$ 3.320.000
20	Canal PVC portapared (10 cmX3m)	CAPV00010	\$ 18.500	23 Und	\$ 425.500
21	Cantoneira PVC (5cm X 14 cm X 3m)	CAN18617	\$ 19.500	20 Und	\$ 390.000
22	Perfil PVC Media Caña en Techos, Paredes y Pisos X 3m	PER00018	\$ 16.500	35 Und	\$ 577.500
23	Adhesivo Sellador Poliuretano Expandido X 310 ml	ADH0040	\$ 14.500	70 Und	\$ 1.015.000
24	Tornillo Autoperforante Cabeza Plana para unión entre Paneles de 1"	IRMOPI0015	\$ 60	700 Und	\$ 42.000
25	Chazo Tipo Puntilla de 2-1/4"	CHAZ18164	\$ 200	100 Und	\$ 20.000
ESTRUCTURA					
26	Tubo Estructural Acero A - 36 (Perfil 60X60 mm espesor 3 mm) x 6m	24558	\$ 91.597	22 Und	\$ 2.015.134
LUMINARIA INTERNA					
27	Lampáras LED Herméticas 2X18W (1260x100x80 mm)	P37438	\$ 58.254	14 Und	\$ 815.556
SUBTOTAL					\$ 72.343.190
IVA(19%)					\$ 13.745.206
TOTAL					\$ 86.088.396

5.2 COSTOS DE LOS SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

De acuerdo con los equipos y unidades de climatización seleccionadas anteriormente para satisfacer los parámetros de operación, se evaluaron los precios por unidad y con la cantidad requerida para su operación; en la *Tabla 18* se describen los ítems de los equipos empleados en el estudio referenciando las características técnicas principales, la marca del producto, su referencia y la cantidad requerida por sistema, donde se determinó el precio neto antes y después de impuestos.

El costo total de los equipos empleados para satisfacer los parámetros de operación de la cámara climatizada es de \$133'713.785 COP incluyendo el Impuesto al Valor Agregado – IVA.

Tabla 18. Costos de los sistemas de refrigeración y calefacción del aire

ITEM	REFERENCIA	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
PLANTA DE AGUA HELADA PARA ENFIAMIENTO DE AIRE (REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA)				
1	Enfriadora de agua - Chiller 5 TR(60.000 BTU/h) R 410-A 220 V/ Trifásico3/60 Hz CONFORTFRESH	CHGKV13060XB3	\$ 8.144.898	1 Und. \$ 8.144.898
2	Electrobomba con Rodete Periférico 1,5 HP 220 V/ Monofásica Caudal hasta 40,2 m ³ /h (70 L/min) PEDROLLO	PQM100	\$ 1.288.710	1 Und. \$ 1.288.710
PLANTA DE AGUA HELADA PARA ENFIAMIENTO DE AIRE (REFRIGERACIÓN CPMERICAL)				
3	Enfriadora de agua - Chiller 7,5 TR(90.000 BTU/h) R 410-A 220 V/ Trifásico3/60 Hz CONFORTFRESH	CHCPV1309XB3	\$13.952.787	1 Und. \$ 13.952.787
4	Electrobomba con Rodete Periférico 1,5 HP 220 V/ Monofásica Caudal hasta (70 L/min) PEDROLLO	PQM100	\$ 1.288.710	1 Und. \$ 1.288.710
PLANTA DE AGUA CALIENTE PARA CALEFFACIÓN DEL AIRE (REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA Y COMERCIAL)				
5	Calentador de Agua tipo Calderín 6 - 52 KW Cap. 2 - 30 L/min Temp. Agua 38 - 84°C BOSCH	THERM 8000S	\$ 4.941.000	2 Und. \$ 9.882.000
6	Tanque Acumulador de Agua Caliente Cap.			2 Und. \$ -
7	Electrobomba con Rodete Periférico 1 HP 220 V/ Monofásica Caudal hasta 2,4 m ³ /h (40 L/min) PEDROLLO	PQM90	\$ 1.288.710	2 Und. \$ 2.577.420
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE (REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA)				
8	Unidad Manejadora de Aire doble pared con aislamiento de 1"; 8 Modulos para control del Aire (MXB1 - Mezcla aire, FLT1 - Filtros, LCS1 - Serpentin Agua Fría, ACC3 Serpentin Agua Caliente, RUS1 Humidificador de Electrodo sumergido, FCSS Ventilador Forward, motor 2 HP". Transmisión Poleas - Correa	03 ADB 06	\$38.240.000	1 Und. \$ 38.240.000
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE (REFRIGERACIÓN COMERCIAL)				
9	Unidad Manejadora de Aire doble pared con aislamiento de 1"; 8 Modulos para control del Aire (MXB1 - Mezcla aire, FLT1 - Filtros, LCS1 - Serpentin Agua Fría, ACC3 Serpentin Agua Caliente, RUS1 Humidificador de Electrodo sumergido, FCSS Ventilador Forward, motor 3 HP" Transmisión Poleas - Correa	03 ADB 06	\$36.990.000	1 Und. \$ 36.990.000
10	Tubo de polipropileno Preaislado de 3/4" X 6m			Und. \$ -
11	Tubo de polipropileno de 3/4" X 6m			Und. \$ -
12	Uniones en Polipropileno de 3/4"			Und. \$ -
13	Codos 90° en Polipropileno de 3/4"			Und. \$ -
SUBTOTAL				\$ 112.364.525
IVA(19%)				\$ 21.349.260
TOTAL				\$133.713.785

5.3 COSTOS DE INSTRUMENTACIÓN, CONTROL Y TELEMETRÍA

Los costos de los instrumentos de control de acuerdo con los seleccionados en el diseño de la automatización de los diferentes sistemas de climatización fueron evaluados para un solo laboratorio, pues el esquema de control junto con la instrumentación de los sistemas es muy similar entre laboratorios donde se emplean los mismos rangos de medición.

Tabla 19. Costos de la instrumentación y control de la cámara climatizada

ITEM		REFERENCIA	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	VALOR TOTAL
PLANTA DE AGUA HELADA PARA ENFIAMIENTO DE AIRE					
SENSORES	1 Diferencial de Presión de Agua	P74EA-8C	\$ 394.401	2 Und.	\$ 788.801
	2 Medidor de Caudal de Agua	F-1110	\$3.264.683	1 Und.	\$ 3.264.683
	3 Termistor de Temperatura para Tubo de Agua	TE-636AM-2	\$ 54.607	2 Und.	\$ 109.214
	4 Termopozo para Termistor de Temperatura de Agua	TE-6300W-102	\$ 155.465	2 Und.	\$ 310.931
PLANTA DE AGUA CALIENTE PARA CALEFACCIÓN DE AIRE					
SENSORES	5 Diferencial de presión de Agua	P74EA-8C	\$ 394.401	2 Und.	\$ 788.801
	6 Medidor de Caudal de Agua	F-1110	\$3.264.683	1 Und.	\$ 3.264.683
	7 Termistor de Temperatura para Tubo de Agua	TE-636AM-2	\$ 54.607	3 Und.	\$ 163.821
	8 Termopozo para termistor de Temperatura de Agua	TE-6300W-102	\$ 155.465	3 Und.	\$ 466.396
	9 Medidor del Volumen de Agua en el Tanque Acumulador		\$ -	1 Und.	\$ -
UNIDAD MANEJADORA DE AIRE - ZONA CONTROL (Laboratorios)					
SENSORES	10 Diferencial de Presión del Aire (Filtros)	AFS-262	\$ 54.607	1 Und.	\$ 54.607
	11 Diferencial de Presión del Aire (Ventilador de Aire)	AFS-222	\$ 58.814	1 Und.	\$ 58.814
	12 Transmisor Diferencial de Presión del Aire	DPT 2671-MR 3	\$ 287.128	1 Und.	\$ 287.128
	13 Termometro de Suministro y Retorno de Aire	TE-6361M-1	\$ 109.538	2 Und.	\$ 219.075
	14 Sensor de Temperatura y Humedad del Aire para Zona con Display	NS-AHR7103-0	\$ 779.416	1 Und.	\$ 779.416
	15 Sensor de Punto de Rocío y Bulbo Seco del Aire para Zona	DP4A-S	\$ 889.277	1 Und.	\$ 889.277
	16 Sensor de Presión de Aire con Display para Zona	PCPLX025	\$ 514.883	1 Und.	\$ 514.883
17 Sensor de Velocidad de Aire Para Zona		\$ -	Und.	\$ -	
MODULOS DE CONTROL (PLC)					
18 Controlador Principal de Campo	FX-PCG2611	\$1.376.033	1 Und.	\$ 1.376.033	
19 Modulo de Expansión de Entradas y Salidas de señales	FX-PCX4711	\$1.050.421	1 Und.	\$ 1.050.421	
20 Modulo de Expansión de Entradas y Salidas de señales	FX-PCX3731	\$1.031.973	1 Und.	\$ 1.031.973	
21 Modulo de Expansión de Entradas y Salidas de señales	FX-PCX3711	\$1.013.526	1 Und.	\$ 1.013.526	
22 Modulo de Expansión de Entradas y Salidas de señales	FX-PCX2721	\$ 834.729	1 Und.	\$ 834.729	
ACCESORIOS					
23 Valvulas 3 Vías on/off Presión estándar	JT3325G13A020	\$ -	2 Und.	\$ -	
24 Relevos y Base		\$ 37.807	5 Und.	\$ 189.036	
25 Transformador 150VA 120 - 24	X150CAB	\$ 136.841	1 Und.	\$ 136.841	
26 Fuente de 24VDC	DCP-1,5W	\$ 44.986	1 Und.	\$ 44.986	
SUBTOTAL POR LABORATORIO					\$ 17.638.076
SUBTOTAL					\$ 35.276.152
IVA(19%)					\$ 6.702.469
TOTAL					\$ 41.978.621

5.4 COSTO TOTAL DE LA CÁMARA CLIMATIZADA

Para determinar el valor total para la implementación de la cámara climatizada se debe realizar una sumatoria del total de los costos directos referentes a los materiales de construcción, los equipos y materiales que componen los sistemas de climatización junto con los valores indirectos de mano de obra, montaje e ingeniería del proyecto.

En la *Tabla 20* se describen los costos totales y los porcentajes empleados para el cálculo de los costos indirectos, determinando que la inversión total para la construcción de la Cámara Climatizada es de \$COP 336'809.651.

Tabla 20. Costo total para la construcción de la Cámara climatizada

ITEM	VALOR IVA INCLUIDO
Construcción Cámara Climatizada	\$ 86.088.396
Instalación y Mano de Obra - 25%	\$ 21.522.099
Equipos para Tratamiento de aire	\$ 133.763.765
Instalación y Mano de Obra - 25%	\$ 33.440.941
Instrumentación y control	\$ 41.978.621
Ingeniería, Programación y Supervisión	\$ 8.138.939
SUBTOTAL	\$ 324.932.761
Otros	
Transportes	\$ 11.876.890
SUBTOTAL	\$ 11.876.890
COSTO TOTAL	\$ 336.809.651

6. CONCLUSIONES

- La construcción de la cámara climatizada y la acreditación por parte del Organismo de Acreditación en Colombia - ONAC contribuye a la industria fabricante de artefactos de refrigeración doméstica y comercial, aportando al Ministerio de Minas y Energía un laboratorio estandarizado nacional e internacionalmente, para dar cumplimiento a la Resolución 41012 del 18 de septiembre de 2015 donde requiere aumentar el número de laboratorios capacitados para realizar las pruebas de conformidad establecidas por el Reglamento Técnico de Etiquetado – RETIQ
- La cámara climatizada se ha diseñado herméticamente de acuerdo con las condiciones ambientales de la ciudad de Bogotá para garantizar la simulación y conservación de cualquier ambiente controlado en el interior de los cuartos de ensayo según los rangos de operación y teniendo la capacidad de recrear temperaturas entre 2 y 45°C, humedades relativas entre 40 al 98% y variación de las velocidades de circulación del aire con un mínimo de 0,254 m/s; estas condiciones se establecieron con base en las normativas vigentes para los ensayos de eficiencia energética de equipos de refrigeración y climatización.
- De acuerdo con las condiciones geográficas establecidas y el cálculo de cargas térmicas para la refrigeración y calefacción del aire de los cuartos de pruebas, se seleccionaron los sistemas de climatización (Enfriadoras tipo Chiller para refrigeración y Calentadores de paso para calefacción) controlados por sensores de temperatura, presión y caudal del agua que garantizan que las condiciones del aire sean las requeridas a través de una manejadora de aire; para así permitan el monitoreo y registro de datos de los ambientes controlados a través del sistema de telemetría.
- Se calculó la inversión total de la cámara climatizada de acuerdo con la selección de los materiales de construcción, equipos de climatización y automatización que la conforman, dando un costo total de \$COP 336'809.651 para su implementación en comparación a la inversión promedio evaluada por la Unidad de Planeación Minero-Energética – UPME de \$COP 320'000.000 (\$COP 160'000.000 referentes a los costos por infraestructura y los equipos de climatización por cada cuarto de pruebas).

7. RECOMENDACIONES

- Validar los cálculos realizados por carga térmica para el aire exterior a la cámara, con las condiciones ambientales específicas del lugar en donde se realice la operación de la cámara climatizada.
- Diseñar y construir los diferentes paquetes de carga requeridos, según las normativas vigentes para la ejecución de las pruebas y ensayos energéticos de los equipos de refrigeración, según el artefacto a evaluar.
- Desarrollar la ingeniería de detalle de la cámara climatizada para su implementación.
- Evaluar la factibilidad de ofrecer a la industria un servicio de pruebas y ensayos energéticos para la certificación de equipos de refrigeración por medio de un estudio de mercado.

BIBLIOGRAFÍA.

ARCE ZAPATA, Germán. RETIQ – Reglamento Técnico de Etiquetado y sus alcances en la industria de acondicionamiento del aire y la refrigeración. En: Boletín - Revista ACAIRE Edición N°63, Bogotá (Julio – Septiembre de 2016). P 34

BALBOA, JOAN. Manual de instalaciones frigoríficas (4a. ed.). Barcelona, España: Editorial Cano Pina, 2012. 307 P.

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Programas de Normalización y etiquetado de eficiencia energética. En: Serie sobre Eficiencia Energética, Guía E (2015). 57p.

BARBOSA SALDAÑA, Juan y GUTIÉRREZ TORRES, Claudia. Termodinámica Para Ingenieros. Distrito Federal, MÉXICO: Grupo Editorial Patria, 2015.

BEER, Ferdinand P., JOHNSTON, E. Russell, Y DEWOLF, John T.. Mecánica de materiales (5a. ed.). Distrito Federal, MX: McGraw-Hill Interamericana, 2010. 791 p.

CAMILLONI, Inés y VERA, Carolina. El aire y el agua en nuestro planeta. Buenos Aires, Argentina: Eudeba Editorial, 2007. 103 P.

CARRIER AIR CONDITIONING Co. ALARCON CREUS, José; BOIXAREU VILAPLANA, José María y CAPELLÁN GUILLEN, Carlos. Manual De Aire Acondicionado “Handbook of Air Conditioning System Design”. Barcelona: Marcombo S.A., 2009.

CASTILLEJO HERNÁNDEZ, Pablo. Cámara germinadora de semillas. Titulación para ingeniero técnico industrial mecánico. Pamplona. Universidad Pública de Navarra. 2014. 199 P. [En Línea]. Disponible en: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/bitstream/handle/2454/15249/629222.pdf>

ÇENGEL, Yunus A. Transferencia de calor y masa: un enfoque práctico (3a. ed.). Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 2007. 904 P.

_____ . Termodinámica (6a. Ed.). Madrid, ES: McGraw-Hill España, 2011.

CHALLENGER. Laboratorio de ensayos, Antecedentes. Consultado el 20 de marzo de 2017. [En línea]. Disponible en: www.challenger.com.co/laboratorios/laboratorios-acreditados/antecedentes

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 41012 (18 de septiembre de 2015) por el cual se establece el Reglamento Técnico de Etiquetado - RETIQ. Bogotá D.C. 2015. 105 p.

DE LA LANZA ESPINO, Guadalupe; CÁCERES MARTÍNEZ, Carlos; ANDAME MARTÍNEZ, Salvador; HERNÁNDEZ PULIDO, Salvador. Diccionario de Hidrología y ciencias afines. Ciudad de México. 1999. 286 p.

ECHEVERRI LONDOÑO, Carlos Alberto. Ventilación Industrial. Bogotá, CO: Ediciones de la U, 2011.

ESPAÑA. MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO. Real decreto 1027 (20 de Julio de 2007) por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios – RITE. Madrid. 2013. 137 p.

FRANCO LIJÓ, Juan Manuel. Manual De Refrigeración. Barcelona, ES: Editorial Reverté, 2012. 232 p.

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. Guía general para opciones de grado. Bogotá D.C. 2014. 97 p.

GRIMM, Nils y ROSALER, Robert. Manual de diseño de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Volumen I. Distrito Federal, MÉXICO: McGraw-Hill Interamericana, 1996.

GONZÁLEZ SIERRA, Carlos. Refrigeración industrial: montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas. Barcelona, ES: Cano Pina, 2012. 430 p.

HAVRELLA, Raymond A. Fundamentos De Calefacción, Ventilación. México, D.F., MX: McGraw-Hill Interamericana, 1983.

IMPLEMENTACIÓN DEL RETIQ. López, Luis Fernando (29 de septiembre de 2016, Bogotá). Feria internacional de Bogotá; ExpoAcaire XV. 2016.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Artefactos de refrigeración doméstico. Características y métodos de ensayo. (NTC 5891). Bogotá D.C. 2011. 87 p.

_____. Código eléctrico colombiano. (NTC 2050). Bogotá D.C. 1998. 1041 p.

_____. Documentación, presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. (NTC 1486). Sexta actualización. Bogotá D.C. 2008 110 p.

_____. Eficiencia energética en artefactos refrigeradores, refrigeradores-congeladores y congeladores de uso doméstico. (NTC 5020). Bogotá D.C. 2014. 62 p.

_____. Eficiencia energética en equipos de refrigeración comercial. Rangos de eficiencia y etiquetado. (NTC 5310). Bogotá D.C. 2004. 22 p.

_____. Referencias bibliográficas, contenido, norma y estructura. (NTC 4490). Bogotá D.C. 1998. 12 p.

_____. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas, (NTC 5613). Bogotá D.C. 1998. 8 p.

_____. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. (ISO/IEC 17025). Bogotá D.C. 2005. 35 p.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia. Bogotá D.C. [En línea]. Disponible en: atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. Evaluación de la conformidad-Requisitos para organismos que certifican productos, procesos y servicios. (ISO/IEC 17065). Quito. 2013. 12 p. [En línea]. Disponible en: www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/NORMAS_2014/GAN/12092014/nte_inen_iso_iec_17065extracto.pdf

LOPÉZ PINEDA; Luis Fernando. Reglamento Técnico de Etiquetado con fines de Eficiencia energética RETIQ. (Resolución 41012/2015). [Diapositivas]. Bogotá. 3 de febrero de 2016. 22 diapositivas.

MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGIA Y TURISMO. Gobierno de España; Reglamento de instalaciones térmicas de los edificios RITE. Madrid. 2013. 137 p. [en Línea]. Disponible en: www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf

MIRANDA, Ángel Luis. Técnicas De Climatización (2a. Ed.). Barcelona, España: Marcombo, 2008. 205 P.

NORMAS OFICIALES MEXICANAS ENER. Eficiencia energética y requisitos de seguridad al usuario para aparatos de refrigeración comercial autocontenidos. Límites, métodos de prueba y etiquetado. (NOM-022-ENER/SCFI). México D.F. 2008. 54 p. http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5073217&fecha=11/12/2008

_____. Norma internacional: Evaluación de la conformidad; Declaración de conformidad del proveedor. (ISO IEC 17050). México D.F. 2004. [en Línea]. Disponible en: <http://documents.mx/documents/norma-iso-iec-17050-1.html>

NUNO, P; Rivas, J. P.; Ares, J. E. Climatización en los centros de proceso de datos. Madrid. ES. 2006. [En Línea]. Disponible en: www.rediris.es/difusion/publicaciones/boletin/76/enfoque2.pdf

OROZCO HINCAPIE, Oscar; FONSECA DÍAZ, Nestor. Diseño del laboratorio de pruebas y ensayos de equipos de acondicionamiento de aire LPEA-UTP. Scientia et Technica año XII, N° 31. Red de Revista Científicas de América Latina y del Caribe, España y Portugal. Agosto de 2006. P 91-96.

PINAZO OJER, José Manuel. Manual De Climatización: Transformaciones psicométricas. Tomo I. México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2009.

_____. Manual De Climatización: Cargas Térmicas. Tomo II México, D.F., MX: Instituto Politécnico Nacional, 2010. 636 P.

RAPIN, Pierre; JACQUARD, Patrick. Formulario del frío. Editorial Marcombo S.A. Barcelona 1999. 469 p.

REY MARTÍNEZ, Francisco Javier. VELASCO GOMEZ, Eloy. Calidad de ambientes interiores. Madrid, ESPAÑA. Thompson editores Spain. 2007. 328 p.

TESTONI KNABBEN, Fernando. Um estudio in-situ da formação de geada em evaporadores No-Frost. Trabajo de grado para Maestría en Ingeniería mecánica. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina. 2010. 126 p.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO-ENERGÉTICA UPME, PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAD PARA EL DESARROLLO PNUD. Diagnóstico de red de laboratorios requerida para la realización de pruebas de conformidad y de calidad de productos frente a la inclusión del etiquetado de parámetros de eficiencia energética en el marco del Subsistema Nacional de Calidad -SNCA. [En línea] (2015). 397 p.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. LABE+i, acreditado desde 2004, trabaja en ser sostenible. Bogotá. Publicado el 20 de mayo de 2016. Consultado el día 15 de marzo de 2017. [En Línea.] Disponible en: www.ingenieria.bogota.unal.edu.co/noticias/item/1449-labe-i-acreditado-desde-2004-trabaja-en-ser-sostenible

VIDAL VIDALES, Ana Cristina; RICO HERRERA, Luis Ernesto; VÁSQUEZ CROMEYER, Guillermo Francisco. Diseño de un modelo de vivienda bioclimática y sostenible, Fase1. Trabajo de investigación. San Salvador. Universidad Tecnológica de El Salvador. 2010. 134 p. [En Línea]. Disponible en: www.utec.edu.sv/media/investigaciones/files/Diseno_de_un_modelo_de_vivienda_bioclimatica_y_sostenible.pdf

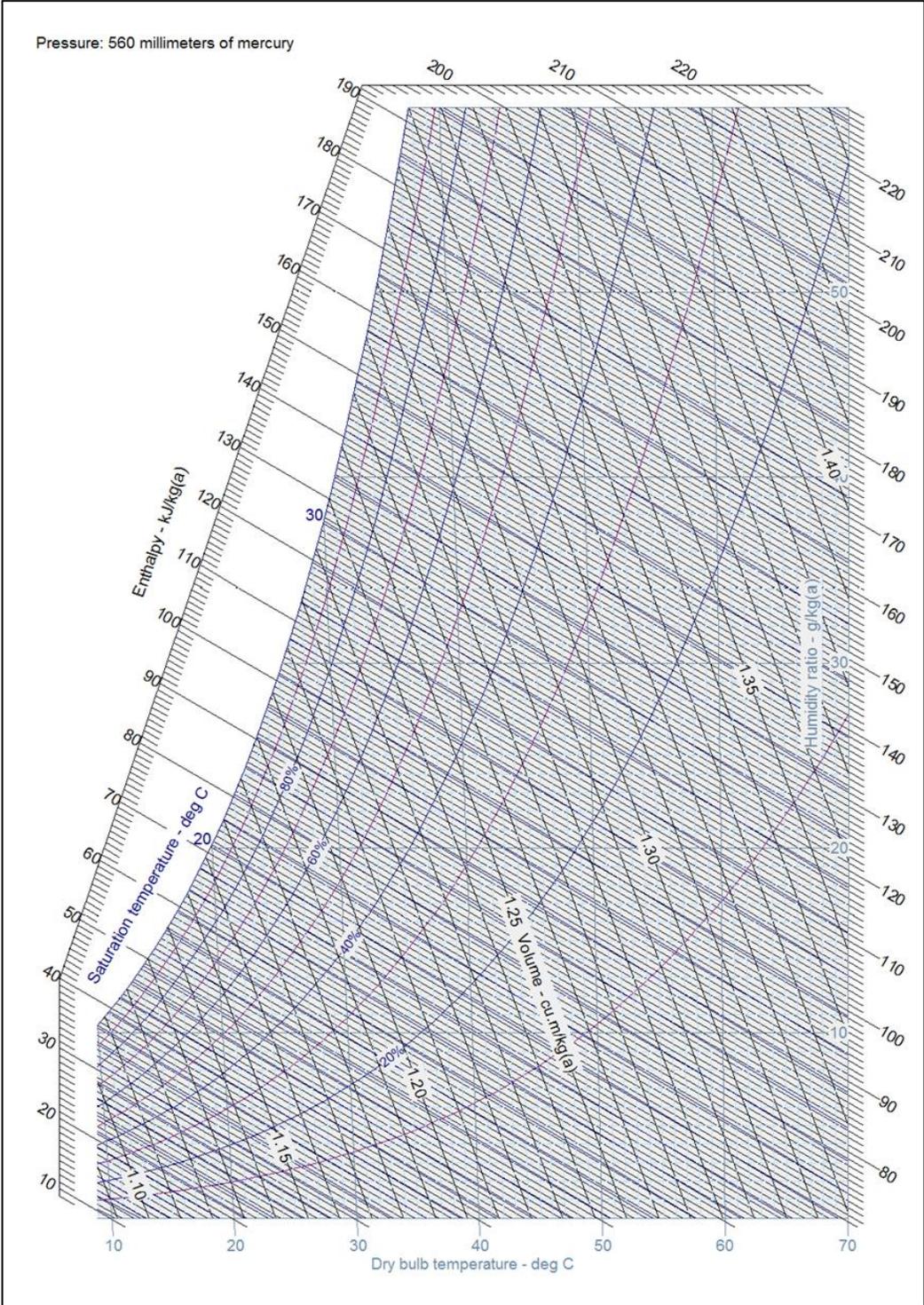
VILLARUBIA LÓPEZ, Miguel. Energía eólica. Barcelona, España: Ediciones CEAC. 2004. 328 p.

WEISSERMEL, Klaus; ARPE, Hans-Jürgen. Química orgánica industrial. Barcelona, ESPAÑA: Editorial Reverté. S.A. 1981. 425 p.

ANEXOS

ANEXO A
ETIQUETADO ENERGÉTICO EN COLOMBIA

ANEXO B
CARTA PSICROMETRICA DE BOGOTÁ D.C.



Fuente. CYTsoftPsychrometric Chart 2.2 Demo; Modificada por el autor

ANEXO C
EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA CONTEMPLADOS PARA EL DISEÑO

PRODUCTO	MARCA	REFERENCIA	CAPACIDAD (LITROS)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	PROFUNDIDAD (CM)
REFRIGERACIÓN DOMÉSTICA						
Refrigerador 5 puertas	LG	GB40MDP	406	70	185	73
Refrigerador Door in Door 2 puertas	LG	GR-J297WSBN	762	91,2	178,5	85,3
Refrigerador Door in Door 4 puertas	LG	GM86SDDB	716	91,2	179,7	86
Refrigerador-congelador	LG	GT40BGP	365	67	178,4	72,4
Refrigerador-congelador	Challenger	CR370B	270	64,6	160,8	55,3
Refrigerador-congelador	Challenger	CR428 GRQ	370	69	164	68,5
Refrigerador-congelador	Whirlpool	WRW25BKTWW	264	61	159	69
Refrigerador-congelador	Mabe	RMP400YJCSS	391	67,9	176	79
Refrigerador-congelador	Mabe	RMP400ZNCSS	391	67,9	176	79
Refrigerador-congelador	Electrolux	DXW51	458	70	181	76
Nevecón 2 puertas	LG	GS73SGG	792	91,2	178,5	91,2
Nevecón 2 puertas	Electrolux	FRSB51J3	512	90	176	75
Nevecón 2 puertas	Samsung	RH58K6317S"I	621	90,8	182,5	72,1
Nevecón 3 Puertas	General Electric	PFM25JSKCSS	693	83,5	177,2	93,5
Nevecón 4 puertas	Samsung	RF28K9380S"I	806	90,8	182,5	87,1
Nevera para vinos 168 Botellas	Vinobox	168GC2T		60	180	68,5
Nevera para vinos 180 Botellas	Vinobox	VI140		60	180	70

ANEXO D
EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN COMERCIAL CONTEMPLADOS PARA EL DISEÑO

PRODUCTO	MARCA	REFERENCIA	CAPACIDAD (LITROS)	ANCHO (CM)	ALTO (CM)	PROFUNDIDAD (CM)
REFRIGERACIÓN COMERCIAL						
Vitrina horizontal	Wonder Cool	WPH-41DPENTA	1161	237	130,5	78
Vitrina horizontal	Weston	ORINOCO ATENDIDA		125	132	120
Vitrina horizontal	Weston	WUAYU		250	120	85
Vitrina horizontal	Inducol	VH-87AI2CD	2604	410	136	83
Vitrina horizontal	Inducol	VH-M-27BL1CD	784	172	117	83
Refrigerador Horizontal	Inducol	EH-500-20AI1CD-INV	566	138	108	77
Congelador Horizontal	Wonder Cool	WCI-580PV	580	95	163	87
Refrigerador Vertical 1 puerta	Inducol	VV.20AI1D1CD-INV	566	72	210	76
Refrigerador Vertical 2 puertas	Wonder Cool	WPV-640SD	640	88	203	72,7
Congelador Vertical 2 puertas	inducol	CV-39AI2D1CD	1105	137	203	84
Congelador Vertical 3 puertas	inducol	CV-70A12D1CD	1982	224	212	86
Equipo Dúplex 2 puertas	Indufrial	INPVE-39R	1104	137,5	201,2	76,4
Equipo Dúplex 2 puertas	Weston			169	209	115
Equipo Dúplex 3 puertas	Wonder Cool	WV-1650 DUPLEX 2C	1650	196	198,7	72,5
Equipo Dúplex 3 puertas	Imbera	G342 3P	1166	150	202,1	72,5
Equipo Dúplex 3 puertas	Weston			247	209	115
Equipo Dúplex 4 puertas	Wonder Cool	WV-2200 DUPLEX	2200	257	198,7	77
Equipo Dúplex 4 puertas	Weston			325	209	115
Equipo Dúplex 10 puertas	Weston			7,93	209	115
Autoservicio	Weston	FRUVER E-1			200	115
Autoservicio	Weston	FRUVER E-3			207	115
Autoservicio	Weston	LACTEOS			207	115
Gondolas de Congelación	Weston			91	106	81
Islas de Congelación	Weston			200	106	100
Islas de Refrigeración	Weston	OCTAGONAL			Diam. 573 Altura 135	

ANEXO E
CATALOGOS

ANEXO F
COTIZACIONES

ANEXO G
PLANOS