



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



Recibo de pago N° 864167

Visto el Informe N° 191-2025-PIEO-UI-FIMEE-UNSLG, emitido la operaria del sistema de antiplagio se emite la siguiente constancia:

N° 180-2025

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud del **Trabajo de Suficiencia Profesional** cuyo título es:

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA CÁMARA CLIMÁTICA PARA LA CALIBRACIÓN DE TERMOHIGRÓMETROS EN EL LABORATORIO DE TEMPERATURA Y HUMEDAD DE LA EMPRESA METROLOGÍA E INGENIERÍA LINO S.A.C.”

Presentado por:

GAHONA LUME, CHRISTIAN HAROLD

BACHILLER de la Facultad INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA – Escuela Profesional de INGENIERÍA ELECTRÓNICA. El resultado obtenido es un porcentaje de TRES POR CIENTO (3%), por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 24 de Junio del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Luis Donayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



INFORME FINAL

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“Diseño e implementación de una cámara climática para la calibración de termohigrómetros en el laboratorio de temperatura y Humedad de la empresa Metrología e Ingeniería Lino S.A.C.”.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnología Sostenible

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR: BACH. CHRISTIAN HAROLD GAHONA LUME

Ica - Perú

2025

DEDICATORIA

Este trabajo de suficiencia profesional está dedicado a:

A mi querida madre, Romelia Justa Lume Calagua,

Quiero dedicar este logro a la persona que ha sido mi guía, mi apoyo incondicional y mi fuente de inspiración a lo largo de toda mi vida: tú, mamá.

Hoy, con orgullo y gratitud, dedico este logro a ti, mi madre amada. Que esta tesis sea una muestra de mi profundo agradecimiento por todo lo que has hecho por mí. Sin ti, nada de esto sería posible.

Finalmente agradezco sinceramente a todos mis amigos colegas, a quienes tuve el privilegio de conocer durante mi trayectoria académica. Su apoyo y consejos han sido invaluable en el proceso de afrontar desafíos y buscar soluciones a diversos problemas. Los conocimientos y criterios que compartimos durante nuestros estudios universitarios fueron de gran importancia en mi desarrollo profesional. Guardo con aprecio todas las enseñanzas recibidas y les agradezco de corazón su invaluable contribución.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi profunda gratitud a Dios, cuya bendición ha sido una constante fuente de fortaleza y orientación para mí y mi familia en cada etapa de nuestras vidas.

Agradezco de corazón a la Universidad Nacional San Luis Gonzaga, en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, por brindarme la oportunidad de recibir una educación de calidad. Mi reconocimiento especial va dirigido a los docentes que formaron parte de mi formación profesional; con sus valiosos conocimientos y experiencias en el rubro, han sido fundamentales para mi crecimiento como profesional. Gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Por último, quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Ramón Pachas de la Cruz, principal asesor y colaborador durante todo este proceso. Su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN DONDE SE DERARROLLÓ LA EXPERIENCIA	2
1.1 CONTEXTO LABORAL	2
1.1.1 Razón Social	2
1.1.2 Rubro.....	2
1.1.3 Ubicación / Dirección	2
1.1.4 Ubicación Geográfica.....	2
1.1.5 Organigrama.....	3
1.1.6 Diagrama de Flujo.....	3
1.1.7 Funciones de Área.....	4
1.1.8 Visión - Empleador	4
1.1.9 Misión - Empleador	4
CAPÍTULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL	5
2.1 EXPERIENCIA LABORAL	5
CAPÍTULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL	6
3.1 OBJETIVOS	6
3.1.1 Objetivo General	6
3.1.2 Objetivos Específicos.....	6
3.2 DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	6
3.2.1 Determinación del Problema.....	6
3.2.2 Análisis del Problema	7
3.3 PROYECTO SOLUCIÓN	7
3.3.1 Cronograma de trabajo	8
3.3.2 Etapas de la investigación.....	8
3.3.3 Procesamiento de Datos	9
3.3.4 Equipos, Materiales e Instrumentos	9
3.3.5 Bases de Cálculos para el Sistema de circulación de aire húmedo.	11
3.3.6 Bases de Cálculos para potencial del material desecante.....	15
3.3.7 Parámetros de Diseño.....	16
3.3.8 Características de los controladores	16
3.3.9 Condiciones de trabajo	17
3.3.10 Diagrama P&ID del Sistema	17
3.4 EVALUACIÓN DEL PROYECTO	18
3.4.1 Evaluación de Dimensionamiento.....	18
3.4.2 Evaluación del transmisor de temperatura y humedad a utilizar.....	24
3.4.3 Evaluación general para dimensionar la bomba de vacío	25
3.4.4 Dimensionamiento de la fuente de voltaje continuo	26
3.4.5 Dimensionamiento del sistema generador de aire húmedo	27

3.4.6 Ensamblaje del sistema	29
3.4.7 Medición de temperatura y humedad del sistema	30
3.4.8 Cálculo de estabilidad y uniformidad del sistema.....	32
3.4.9 Análisis de los cálculos obtenidos.....	33
3.5 GENERALIDADES DE MATERIALES.....	34
3.5.1 Acero 34.....	34
3.5.2 Mangueras de silicona.....	34
3.5.3 Filamento Pla	35
3.5.4 Silicona de alta temperatura	35
CAPÍTULO IV: APORTES A LA INSTITUCIÓN	36
CONCLUSIONES.....	41
RECOMENDACIONES.....	42
ANEXOS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Cronograma de trabajo.....	8
Tabla 2. Técnicas e instrumentos del informe	9
Tabla 3. Listado de equipos	9
Tabla 4. Lista de Materiales	10
Tabla 5. Lista de máquinas.....	10
Tabla 6. Lista de instrumentos	10
Tabla 7. Coeficiente de rugosidad.....	14
Tabla 8. Características del sensor.....	16
Tabla 9. Características del controlador.....	16
Tabla 10. Voltajes y corrientes de fuente.....	26
Tabla 11. Datos de ingreso para análisis.....	28
Tabla 12. Resultados análisis inicial	28

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1. Ubicación Geográfica	2
Figura 2. Organigrama Metroil	3

Figura 3. Diagrama de Flujo del Área de Proyectos de Ingeniería	3
Figura 4. Mezcla Adiabática de corriente de aire.....	11
Figura 5. Cálculo del Caudal Volumétrico.....	12
Figura 6. Medidas de Mangueras por Diámetros	13
Figura 7. Resultados absorción para el tamiz molecular.....	16
Figura 8. Sistema de Aire Acondicionado	17
Figura 9. Esquema de la recirculación de flujo húmedo-seco.....	17
Figura 10. Esquema de la recirculación de flujo húmedo	18
Figura 11. Celda Peltier instalado con disipador térmico	18
Figura 12. Celda Peltier instalado con disipador de aluminio.....	19
Figura 13. Sistema de disipación de calor de la parte caliente y fría de una celda Peltier	20
Figura 14. Sistema de disipación de calor de la parte caliente de una celda de Peltier.....	20
Figura 15. Celda Peltier diseño interno.....	21
Figura 16. Modulo Bts7960	22
Figura 17. Diagrama de Control de la celda Peltier.....	22
Figura 18. Diagrama de control de la celda Peltier.....	23
Figura 19. Relay de estado sólido con disipador de calor.....	24
Figura 20. Transmisor de Temperatura y Humedad	25
Figura 21. Bomba de vacío	26
Figura 22. Fuente de Poder Switching de 40 Amperios.....	27
Figura 23. Disco cerámico para humidificador.....	27
Figura 24. Electroválvula 1/16" para gas	28
Figura 25. Ensamblaje del Proyecto Cara Frontal.....	29
Figura 26. Ensamblaje del Proyecto Cara Posterior.....	29
Figura 27. Ensamblaje Del Proyecto Cara Superior	30
Figura 28. Ensamblaje del Proyecto Cara Superior Diagonal.....	30

Figura 29. Ubicación del Transmisor de Temperatura y Humedad.	31
Figura 30. Resultados Temperatura y Humedad.....	32
Figura 31. Resultados de medición en °C	32
Figura 32. Resultados de medición en porcentaje de humedad relativa (%rh)	33
Figura 33. Criterios de aceptación	33
Figura 34. Plancha de acero clase 304	34
Figura 35. Manguera Siliconada ¾".	34
Figura 36. Filamento Essun color negro.	35
Figura 37. Silicona de alta temperatura.....	35
Figura 38. Portada de Catálogo Metroil S.A.C. Laboratorio de Humedad	36
Figura 39. Análisis de Registro de Temperatura y Humedad	39
Figura 40. Medición de Temperatura.....	40

RESUMEN

Hoy en día, la medición de condiciones ambientales como la temperatura y la humedad se realiza con termohigrómetros, que requieren calibración constante. Este trabajo se centra en diseñar y desarrollar una Cámara Climática para calibrar termohigrómetros, optimizando el proceso de calibración y mejorando la precisión de las mediciones. Las mediciones de termohigrómetros son esenciales en meteorología, industria alimentaria, farmacéutica y otras áreas científicas y tecnológicas. Para garantizar la exactitud de las mediciones, es crucial contar con una Cámara Climática que cumpla con criterios metrológicos. El problema principal es la limitación del rango de medición de humedad de los termohigrómetros, que va del 25% al 90% de humedad relativa, y el tiempo de calibración promedio de 8 horas, debido al uso de cámaras que solo controlan temperatura o humedad. Esto es insuficiente para aplicaciones que requieren un mayor rango de humedad y tiempos de calibración más cortos. Por ello, es necesario desarrollar una Cámara Climática que amplíe el rango de humedad desde el 10% hasta el 90% y controle la temperatura de 10°C a 40°C. Los objetivos incluyen diseñar y construir una Cámara Climática con una estabilidad de 0,3°C en temperatura y 0,3% en humedad relativa, y una uniformidad de 0,5°C en temperatura y 1% en humedad relativa, para asegurar mediciones precisas. El proyecto abarca el diseño del sistema de control, la selección y calibración de sensores, la implementación de la interfaz de usuario y la validación experimental. Este estudio aportará beneficios a la metrología y a industrias que dependen de mediciones precisas de humedad y temperatura. La Cámara Climática será una herramienta confiable y de alto rendimiento para la calibración de termohigrómetros, ampliando su rango de medición y asegurando la calidad de las mediciones.

Palabras clave: Cámara Climática, Calibración, Termohigrómetros, Mediciones.

ABSTRACT

Nowadays, the measurement of environmental conditions such as temperature and humidity is done with thermohygrometers, which require constant calibration. This work focuses on designing and developing a Climatic Chamber to calibrate thermohygrometers, optimizing the calibration process and improving the precision of the measurements. Thermohygrometer measurements are essential in meteorology, food, pharmaceutical and other scientific and technological areas. To guarantee the accuracy of the measurements, it is crucial to have a Climatic Chamber that meets metrological criteria. The main problem is the limitation of the humidity measurement range of thermohygrometers, which goes from 25% to 90% relative humidity, and the average calibration time of 8 hours, due to the use of cameras that only control temperature or humidity. This is insufficient for applications requiring a larger humidity range and shorter calibration times. Therefore, it is necessary to develop a Climatic Chamber that expands the humidity range from 10% to 90% and controls the temperature from 10°C to 40°C. The objectives include designing and building a Climatic Chamber with a stability of 0.3°C in temperature and 0.3% in relative humidity, and a uniformity of 0.5°C in temperature and 1% in relative humidity, to ensure measurements precise. The project covers the design of the control system, the selection and calibration of sensors, the implementation of the user interface and the experimental validation. This study will provide benefits to metrology and industries that depend on accurate humidity and temperature measurements. The Climatic Chamber will be a reliable and high-performance tool for calibrating thermohygrometers, expanding its measurement range and ensuring the quality of the measurements.

Keywords: Climatic Chamber, Calibration, Thermohygrometers, Measurements.

INTRODUCCIÓN

La empresa Metrología e Ingeniería Lino S.A.C, (en adelante Metroil), nombró en el año 2022 a Christian Harold Gahona Lume como encargado del Área de Ingeniería y Desarrollo, con la finalidad de realizar mejoras en beneficio de la empresa. Durante el periodo profesional dedicado al rubro de la metrología industrial y legal, se aplicaron métodos de optimización y solución a problemas complejos que permitieron evaluar y analizar cada problemática cuando lo requería una empresa.

La precisión en la medición de humedad y temperatura es esencial en múltiples industrias, lo que requiere sistemas confiables para la calibración de termohigrómetros. Este informe presenta el diseño de una Cámara Climática con la intención de garantizar un ambiente controlado y estable, donde se estudian diferentes configuraciones estructurales y electrónicas, seleccionando sensores y actuadores adecuados. Asimismo, se integran estrategias avanzadas de control y mecanismos de seguridad, abarcando desde la estructura y componentes hasta la implementación de la electrónica y el control del sistema.

De allí que, el presente informe profesional tiene como objetivo optimizar el proceso de calibración y mejorar la precisión en las mediciones de humedad y temperatura. Para la elaboración de la Cámara Climática, se realizaron estudios y análisis previos que determinan los requerimientos específicos del diseño, a través de la revisión de antecedentes se exploraron diferentes opciones de sensores para medir con precisión la humedad y la temperatura dentro de la cámara, así como, los controladores más adecuados que garantizaran un ambiente controlado y estable, utilizando simulaciones en Autodesk Inventor y SOLIDWORKS, permitiendo validar la eficiencia del sistema antes de su construcción física. Por lo tanto, se aborda en detalle la disposición y ubicación de los componentes, como las celdas Peltier para generar distintas temperaturas requeridas, los ventiladores para la recirculación del aire, las válvulas de apertura y cierre para regular el flujo de aire y una bomba de vacío para el intercambio de aire seco y húmedo en el interior de la cámara.

Este proyecto se justifica por cuanto, representa un avance en metrología, proporcionando una solución confiable para la calibración de termohigrómetros, debido a que, su aplicación mejora la precisión de la Cámara Climática, brindando una base sólida para futuros trabajos de investigación y desarrollo en el ámbito de la instrumentación y la metrología. Además, la metodología empleada puede adaptarse a otras áreas que requieran un control climático estricto y la implementación de esta tecnología abre nuevas oportunidades en sistemas avanzados de regulación ambiental, así como, la promoción y desarrollo de herramientas de medición de alto rendimiento para mejorar la calidad y confiabilidad en procesos industriales.

CAPÍTULO I: INFORMACIÓN DE LA INSTITUCIÓN DONDE SE DERARROLLÓ LA EXPERIENCIA

1.1 Contexto Laboral

1.1.1 Razón Social

La empresa es Metrología e Ingeniería Lino S.A.C, con Registro Único de Contribuyente N° 20471742792.

1.1.2 Rubro

La empresa se dedica a realizar actividades de ingeniería y metrología industrial y legal. Está conformada por un equipo de profesionales de Ingenieros y Técnicos altamente capacitados y debidamente certificados. Además, ofrece al mercado nacional lo siguiente: Proyectos de Ingeniería, Metrología Industrial y Metrología Legal.

1.1.3 Ubicación / Dirección

La empresa se encuentra ubicada en la ciudad de Lima, específicamente siendo su dirección la Avenida República de Venezuela Nro. 2040 – Cercado de Lima - Lima.

1.1.4 Ubicación Geográfica

Se muestra en la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** la ubicación geográfica en vista de planta del centro laboral (ver Figura 1).



Figura 1. Ubicación Geográfica
Fuente: Google Maps

1.1.5 Organigrama

El organigrama de la empresa fue actualizado en el año 2021. (ver **¡Error! No se encuentra el**

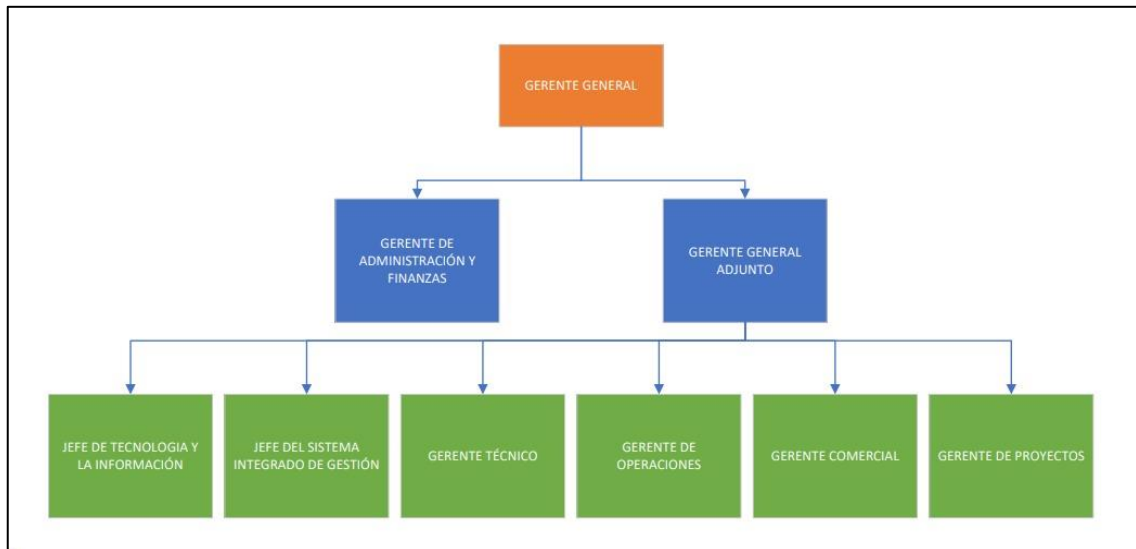


Figura 2. Organigrama Metroil
Fuente: Metrología e Ingeniería Lino S.A.C (2024
origen de la referencia.)

1.1.6 Diagrama de Flujo

A continuación, se presenta el diagrama de flujo del área de estudio (ver Figura 3).

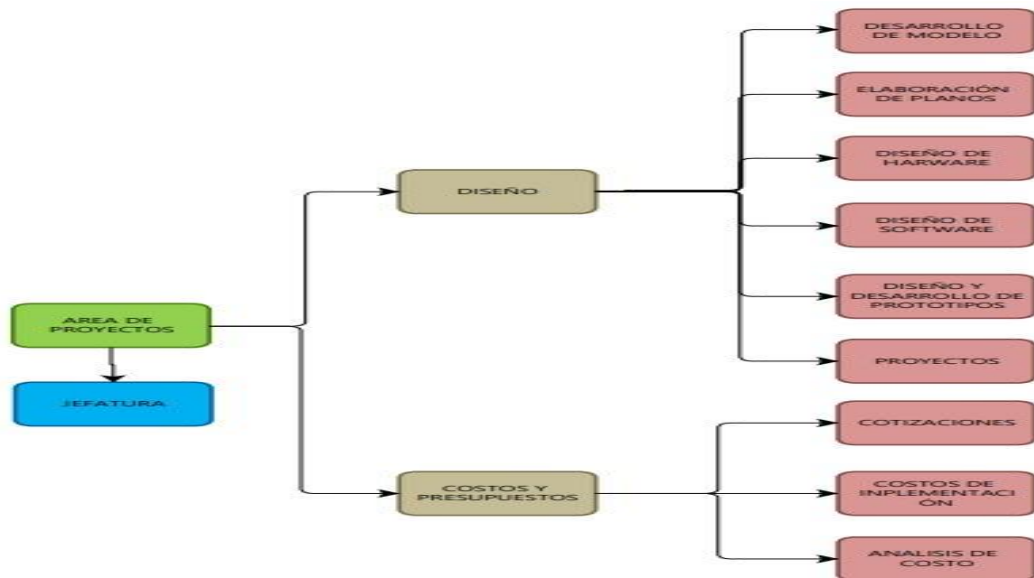


Figura 3. Diagrama de Flujo del Área de Proyectos de Ingeniería
Fuente: Metrología E Ingeniería Lino S.A.C

1.1.7 Funciones de Área

El cargo que desempeño en la empresa METROIL es de encargado del área de Ingeniería y Desarrollo, en este puesto el investigador se dedica al estudio, análisis, diseño, rediseño, costos y cálculos. A fin de brindar soluciones a los requerimientos, durante el periodo se traza como objetivos aportar conocimientos adquiridos durante la formación universitaria.

Misión: Liderar el campo del diseño e implementación de equipos metrológicos mediante el uso innovador de la electrónica y la tecnología, contribuyendo así a mejorar los procesos de medición en diversas industrias. Estamos comprometidos a resolver los desafíos diarios mediante soluciones ingeniosas y a mantenernos actualizados con los avances tecnológicos para ofrecer a nuestros clientes las soluciones más eficientes y precisas. Nuestra pasión por la excelencia nos impulsa a buscar constantemente nuevas formas de optimizar los sistemas de medición, asegurando la confiabilidad y calidad de nuestros productos y servicios.

Visión: Ser reconocidos a nivel nacional e internacional como líderes indiscutibles en el ámbito del diseño e implementación de equipos metrológicos. Aspiramos a ser la primera opción para empresas y organizaciones que busquen soluciones de medición y aseguramiento de vanguardia. Nos esforzamos por forjar asociaciones duraderas con nuestros clientes, basadas en la confianza y la satisfacción por brindarles soluciones tecnológicas de alto nivel. Como equipo de ingenieros dedicados, nos visualizamos como agentes de cambio que impulsan el progreso de la metrología, promoviendo la eficiencia y la precisión en todos los sectores industriales en los que operamos.

1.1.8 Visión - Empleador

En METROIL S.A.C. contamos con una visión táctica para brindar beneficios a nivel social y lo más importante, establecer compromiso para todos nuestros clientes. La visualización que se tiene es ser una empresa de gran alcance y líder en el mercado. La fusión con FAMET S.A.C. brinda la oportunidad de aumentar las soluciones y servicios a brindar, nos permite brindar soluciones más eficientes y aumentar nuestras oportunidades. En METROIL nos comprometemos con los clientes, proveedores, empleados, profesionales y los posibles candidatos a establecerse en nuestras oficinas METROIL forma parte de un grupo empresarial destinado a obtener reconocimiento a nivel mundial por ofrecer productos y servicios que mejoran la calidad de vida de sus clientes, empleados y la comunidad.

1.1.9 Misión - Empleador

METROIL es un grupo comercial que tiene como misión brindar soluciones en metrología e ingeniería en los sectores y actividades más importantes del país que permita elevar la calidad de vida. METROIL apuesta por el talento excepcional y fomenta un alto desempeño profesional al promover un entorno de responsabilidad y libertad.

CAPÍTULO II: TRAYECTORIA PROFESIONAL

2.1 Experiencia Laboral

A lo largo de la vida profesional se va adquiriendo conocimientos y experiencias que refuerzan las bases de lo aprendido en la Universidad. A continuación, en los siguientes numerales se presenta la trayectoria profesional en orden cronológica.

1. Metrología e Ingeniería Lino S.A.C.: **(Febrero 2022 – Actualidad)**

- Cargo: Metrologo.
- Funciones: Evaluación de equipos de las características técnicas de los equipos de medición, especificación técnica, criterios de diseños electrónico, hojas de datos, filosofías de operación, revisión de circuitos electrónicos, implementación de sistemas de adquisición de data en los procesos de medición, elaboración de procedimientos de medición.

2. Test & Control S.A: **(Mayo 2017 – Febrero 2022)**

- Cargo: Metrologo
- Funciones: Implementación de sistemas para medición. Mejora de la eficiencia y tiempo de vida de los equipos utilizados en laboratorio de calibraciones. Diseño de hardware y software para la medición en las áreas de laboratorio y campo.

2.2 Aprendido en el centro de trabajo

La trayectoria profesional permitió consolidar habilidades técnicas en el área de metrología, aplicando conocimientos en evaluación, diseño e implementación de sistemas de medición. En Metrología e Ingeniería Lino S.A.C., se desarrollaron actividades relacionadas con la evaluación técnica de equipos, especificación de criterios de diseño electrónico y revisión de circuitos, las cuales garantizaron la precisión en los procesos de calibración. Asimismo, se trabajó en la implementación de sistemas de adquisición de datos, optimizando el monitoreo de variables ambientales. Por otra parte, durante la experiencia en la empresa Test & Control S.A., se fortalecieron competencias en la mejora de eficiencia y vida útil de equipos de laboratorio, así como, el diseño de hardware y software para medición en diversas áreas para estandarizar y mejorar los procesos de calibración. Estas experiencias permitieron desarrollar una visión integral de la metrología, combinando aspectos técnicos con gestión de calidad, contribuyendo al aseguramiento de la exactitud y confiabilidad de las mediciones.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN PROFESIONAL

3.1 Objetivos

3.1.1 Objetivo General

Diseñar una cámara climática que proporcione una temperatura y humedad controlada de tal medida que sea estable en el tiempo y uniforme en el espacio en el interior de la cámara de prueba.

3.1.2 Objetivos Específicos

- Definir los objetivos de control para la humedad y la temperatura, atendiendo los rangos de valores deseados, las tolerancias permitidas y los criterios de desempeño que guiarán el sistema de control.
- Identificar los sensores y actuadores que permitan el control de la humedad y la temperatura, para su monitoreo constante, así como el ajuste de las condiciones ambientales, sistemas de humidificación, deshumidificación, calefacción y enfriamiento.
- Seleccionar un sistema de control multivariable que regule de manera eficiente la humedad y la temperatura, integrando estrategias de control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) para cada variable, así como, considerando estrategias avanzadas como el control predictivo y el control basado en modelos.
- Establecer la interacción entre las variables de humedad y temperatura, valorando su interrelación en el diseño del sistema de control, garantizando un control coordinado que tenga en cuenta cómo los cambios en una variable afectan a la otra.
- Implementar sistemas de seguridad que incorporen protecciones y límites que posibiliten el funcionamiento seguro del sistema y eviten situaciones no deseadas en caso de condiciones anómalas o fallas en el sistema de control.
- Realizar ajustes finos y calibración de los controladores una vez implementada la filosofía de control, asegurando un funcionamiento óptimo y una respuesta precisa a las consignas de temperatura y humedad.

3.2 Determinación y Análisis del Problema

3.2.1 Determinación del Problema

La calibración de termohigrómetros utiliza un tiempo prudencial y ofrece un rango adecuado de medición como algo crucial en un laboratorio de calibraciones. Los usuarios de termohigrómetros están en constante evolución en las exigencias de los rangos y exactitudes de medición, teniendo esto un efecto importante en la demanda de un servicio de calibración de termohigrómetros que

cuenta con tales rangos y exactitudes. Además, los intervalos de tiempos en los cuales se interna un termohigrómetro en un laboratorio para su calibración son de vital importancia por motivos de reemplazos y medición constante de las condiciones ambientales [1].

Actualmente se cuentan con cámaras que proporcionan un nivel de humedad alcanzado gracias al uso de silicona y un sistema de recirculación de aire y así la humedad pueda impregnarse en la silicona y lograr diferentes valores de humedad según se requiera. Y por consiguiente para la calibración de los termohigrómetros en el parámetro de temperatura se tiene una segunda cámara donde se controla la temperatura por medio de un sistema de refrigeración y calefacción [2]. Lo cual hace que el sistema en su conjunto no sea eficiente ya que hay que tomar medidas en un periodo en cámaras de humedad y otro periodo en cámaras de temperatura.

La problemática surge a raíz de que este sistema utilizado conformado por dos cámaras nos consume recursos de horas hombre y a la vez bajas exactitudes y rangos limitados en el momento de realizar el proceso de calibración. La acumulación de las órdenes de trabajo generaba el estrés del personal y las exigencias por parte del cliente. La opción de desistir de nuestros servicios por temas de rangos y exactitudes obligando al cliente enviar sus equipos al departamento de calibraciones del Organismo Nacional de Calidad (DM-INACAL), los cuales poseen el patrón nacional de humedad.

3.2.2 Análisis del Problema

Es por ello, que se decidió diseñar una cámara que encapsule dos tipos de controles, control de humedad y temperatura; por lo tanto, se consideraron los siguientes puntos: 1) Selección de sensores de humedad y temperatura. 2) Selección del tipo de controlador de acuerdo a precisión requerida. 3) Diseño de las tarjetas electrónicas de potencia e instrumentación. 4) Diseño de la estructura de la cámara climática. 5) Diseño de la estructura para almacenar el desecante. 6) Diseño de la estructura para almacenar el generador de humedad por ultrasonido. 7) Selección de las fuentes de voltaje para la alimentación eléctrica del sistema. 8) Ajuste de los valores de PID de los controladores para su óptima función y 9) Realizar los ensayos de caracterización para hallar la estabilidad y uniformidad del sistema.

3.3 Proyecto Solución

La solución debe partir realizando una memoria de cálculo del sistema, calcular la potencia de la bomba de vacío, calcular la potencia de enfriamiento y calentamiento de las celdas Peltier y también calcular la potencia de secado y humectación del sistema de secado y generación de aire húmedo. Diseñar las tarjetas electrónicas teniendo en cuenta las potencias a manejar y teniendo en cuenta el ruido que posiblemente se pueda generar en las partes mecánicas del sistema. Se

deben de sintonizar los controladores instalados en el sistema para lograr el tipo de control buscado.

3.3.1 Cronograma de trabajo

A continuación se presenta el cronograma de actividades establecido (ver Tabla 1).

Tabla 1. Cronograma de trabajo

DESCRIPCIÓN ACTIVIDADES	AÑO 2022											
	JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE			
	Semana				Semana				Semana			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
RECOLECCIÓN DE DATOS												
Recolección de información												
Análisis de tipos de desecantes												
Análisis de tipos de sensores												
Análisis de tipos de controladores												
Análisis de la estructura												
PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN												
Pre diseño a mano alzada												
Digitación de datos en software Excel												
Digitación de datos en software Inventor												
Ordenar datos mediante tablas, gráficas y cálculos referenciales												
Redacción de trabajo												
Selección de datos a utilizar												
ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN												
Comparar análisis de cálculos realizados												
Analizar resultados de estabilidad y uniformidad												
Analizar y optimizar material según software												
Elaboración de Ingeniería de detalle												
Conclusiones y Recomendaciones												
Integrar Anexos												

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Etapas de la investigación

- Recolección de datos

El presente trabajo fue elaborado como base de enfoque cuantitativo, se recolectaron y analizaron los datos proporcionados por el personal del área de ventas (ver Tabla 2).

Tabla 2. Técnicas e instrumentos del informe

Enfoque	Técnicas	Instrumentos
CUANTITATIVO	Observación	Hoja de datos
	Análisis documental	-Reporte de demoras de servicios -Reporte de tercerización

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Procesamiento de Datos

El presente trabajo de suficiencia profesional utilizó para el procesamiento de los datos el software estadístico de MS Office Excel, con ello se obtuvieron relaciones y tablas donde se procesó la información recolectada. El software Inventor se utilizó para optimización del diseño de la estructura de la cámara climática y el software Altium Designer se utilizó para el diseño de las tarjetas electrónicas.

3.3.4 Equipos, Materiales e Instrumentos

Equipos:

En la siguiente Tabla 3, se muestra el listado de equipos a utilizar.

Tabla 3. Listado de equipos

Ítem	Equipo	Marca	Cantidad	Unidad	Uso
1	Laptop	HP	1	Und.	- Diseño de la estructura -Diseño de las tarjetas electrónicas -Diseño de recipientes para humedad
2	Impresora	XEROX	1	Und.	-Impresión de planos para fabricación
3	Transmisor de Humedad y Temperatura	JIEOTO	1	Und.	-Medición de la temperatura y humedad en el interior de la cámara
4	Controlador de 5 dígitos	EUROTHERM	2	Und.	-Control de la variable asignada utilizando un PID sintonizado
5	Bomba de vacío	HL	1	Und.	-Recirculación forzada del aire interno.
6	Válvula On /Off	HL	1	Und.	-Apertura y cierre de aire húmedo

Fuente: Elaboración propia

Materiales:

En la siguiente Tabla 4, se muestra el listado de materiales.

Tabla 4. Lista de Materiales

Ítem	Descripción	Material	Cant.	Unidad	Uso	Fuente
1	Acero Inoxidable	Plancha de acero estructural	1	kg. x pza.	Estructura de la cámara	Inventor
2	Tamiz molecular	Diámetro de esfera 2,5 mm	1	kg.	Desecante de humedad.	Inventor
3	Pla	Filamento Pla	1	kg.	Impresión de piezas	Inventor
4	Fibra de vidrio	Plancha rectangular 30 cm x 30 cm.	1	Und.	Tarjetas electrónicas	Altium Designer
5	Puente H					

Fuente: Elaboración propia

Máquinas:

En la siguiente Tabla 5, se muestra el listado de máquinas y herramientas.

Tabla 5. Lista de máquinas

Ítem	Máquina	Cantidad	Unidad	Función
1	Dobladora	1	Und.	-Doblado de estructura
2	Taladro de columna	1	Und.	-Taladrado de agujero a anillos
3	Sierra mecánica	1	Und.	-Corte de platinas rectangulares
4	Fresadora universal vertical	1	Und.	-Fresado de lados de refuerzos
5	Soldadora tig	1	Und.	-Unión de estructura
6	Impresora 3D	1	Und.	-Impresión de partes
7	Estación de soldar	1	Und.	-Ensamblaje de tarjeta electrónica

Fuente: Elaboración propia

Instrumentos:

En la siguiente Tabla 6 se muestra el listado de instrumentos de precisión.

Tabla 6. Lista de instrumentos

Ítem	Instrumento	Rango	Marca	Cantidad	Unidad
1	Calibrador	0 – 300 mm	HL	1	Und.
2	Cinta métrica	0 – 5 m	Stanley	1	Und.
3	Multímetro	DC/AC	Fluke	1	Und.
4	Calibrador de Procesos	DC/AC	Fluke	1	Und.
5	Registrador de temperatura	RTD	Fluke	1	Und.
6	Resistencias de platino	0 °C a 200 °C	Omega	12	Und.
7	Higrómetro	5% hr a 95 % hr	Vaisala	1	Und.
8	Anemómetro	0m/s a 20 m/s	Prasek	1	Und.

Fuente: Elaboración propia

3.3.5 Bases de Cálculos para el Sistema de circulación de aire húmedo.

- Mezcla adiabática de corrientes de aire.

Un proceso común en sistemas de acondicionamiento de aire es la mezcla de corrientes de aire húmedo, tal como se muestra en la Fig. 9 El objetivo del análisis termodinámico es, habitualmente, fijar el caudal y el estado de la corriente de salida para unos determinados caudales y estados de las dos corrientes de entrada. Los balances de masa del aire seco y del vapor de agua y de energía en estado estacionario son:

$$\text{Aire seco: } m_{a1} + m_{a2} = m_{a3} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\text{Vapor de agua: } m_{v1} + m_{v2} = m_{v3} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Como } m_v = x m_a$$

$$m_{a1}x_1 + m_{a2}x_2 = m_{a3}x_3 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$m_{a1}x_1 + m_{a2}x_2 = m_{a3}x_3$$

Esto queda representado en la Figura 4

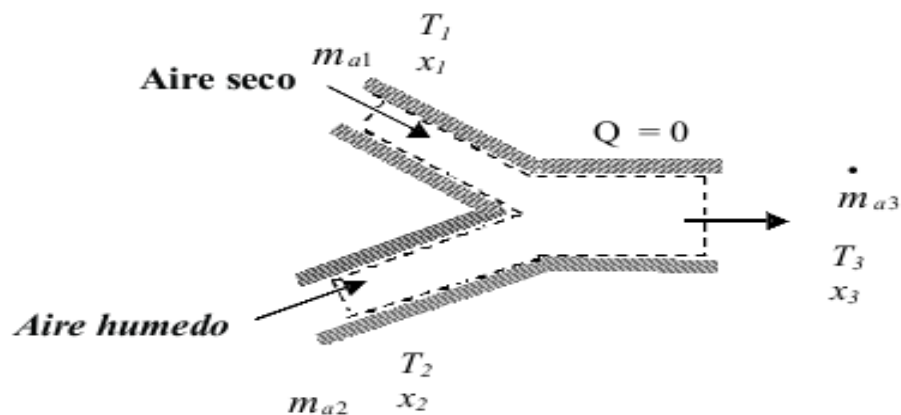


Figura 4. Mezcla Adiabática de corriente de aire
Fuente Elaboración Propia

Como la transferencia de calor con los alrededores suele ser muy pequeña, puede suponerse que el proceso de mezclado es adiabático.

Criterios de bombeo de aire.

- Rendimiento de bombeo q_{pv}

La capacidad (rendimiento) de bombeo de una bomba es igual al caudal másico que atraviesa el puerto de admisión de la bomba:

$$q_m = \frac{m}{t} \text{ Ecuación 4}$$

o al caudal de pV que atraviesa el puerto de admisión de la bomba:

$$q_{pv} = \frac{p.V}{t} \text{ Ecuación 5}$$

Normalmente se indica en $\text{mbar} \cdot \text{l} \cdot \text{s}^{-1}$. Aquí, p es la presión del lado de admisión de la bomba. Si p y V son constantes en el lado de admisión de la bomba, el rendimiento de esta bomba puede expresarse mediante la ecuación sencilla

$$q_{pv} = p.S \text{ Ecuación 6}$$

Donde:

S: Velocidad de bombeo de la bomba.

P: Presión de bombeo.

El concepto de rendimiento de bombeo es de gran importancia en la práctica y no debe confundirse con la velocidad de bombeo. El rendimiento de bombeo es la cantidad de gas que la bomba mueve por unidad de tiempo, expresada en $\text{mbar} \neq \text{l/s}$; la velocidad de bombeo es la "capacidad de transporte" que ofrece la bomba por unidad de tiempo específica, expresada en m^3/h o l/s . **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Partiendo de la capacidad del volumen de trabajo el cual es 12,3 Litros, sabiendo que el sistema de bombeo nos tiene que proporcionar mínimo la capacidad total en 25 segundos, de aquí hallamos el caudal volumétrico que sería la división de estos dos valores cuyo resultado es 0,492 L/s (0,000492 m^3/s). Una vez calculado el caudal pasaremos a calcular el diámetro de la manguera a utilizar, dicho diámetro lo calcularemos por medio de la fórmula para hallar el caudal:

$$Q = v * A \text{ Ecuación 7}$$

Lo anterior queda representado en la Figura 5.

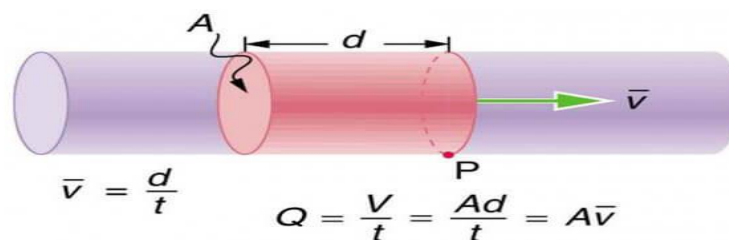


Figura 5. Cálculo del Caudal Volumétrico

Fuente: <https://scychiller.com/es/how-to-size-pipe-in-chiller-system-friction-loss-chart/>

Donde:

A : Área transversal de la manguera.

v : Velocidad del aire.

Este caudal debe suministrar el sistema de bombeo en conexión con el sistema de almacén del desecante. Cuando la velocidad del aire es baja, el flujo es laminar y el aire se desplaza de forma relativamente ordenada, con lo que las perturbaciones se igualan y se restablece el orden. Cuando la velocidad del aire aumenta y el flujo se vuelve turbulento, se obtiene algo parecido al caos. En un flujo turbulento, la velocidad del aire cambia de un punto a otro, pero también a lo largo del tiempo en un mismo punto de forma más o menos aleatoria.

Las velocidades óptimas para el transporte de oscilan en el rango de 0,3 m/s a 2 m/s. Si los cálculos se realizan con esta velocidad con la razón de hallar el diámetro de la manguera a utilizar para el transporte del aire, se obtiene de la formula del caudal despejando A :

$$A = \frac{Q}{v} \text{ Ecuación 8}$$

$$A = \frac{0,000492}{2}$$

$$A = 0,000246m^2$$

$$D = 0,0177m$$

$$D = 18 \text{ mm}$$

A continuación se presentan las medidas de la manguera (ver Figura 6).

Tamaño de la manguera	Diámetro interior	Diámetro externo
1/4	0.25 en (6.35 mm)	0.52 en (13.21 mm)
3/8	0.38 en (9.53 mm)	0.75 en (19.05 mm)
1/2	0.50 en (12.70 mm)	0.87 en (22.10 mm)
5/8	0.63 en (15.88 mm)	1.00 en (25.40 mm)
3/4	0.75 en (19.05 mm)	1.16 en (29.46 mm)
1	1.00 en (25.40 mm)	1.50 en (38.10 mm)
1 1/4	1.25 en (31.75 mm)	1.85 en (46.99 mm)
1 1/2	1.50 en (38.10 mm)	2.17 en (55.12 mm)
2	2.00 en (50.80 mm)	2.65 en (67.31 mm)

Figura 6. Medidas de Mangueras por Diámetro

Fuente: <https://kingdaflex.com/es/hydraulic-hose-diameter/>

Seguidamente se muestra el coeficiente de rugosidad (ver Tabla 7).

Tabla 7. Coeficiente de rugosidad

Material	Coeficiente de rugosidad (mm)
Acero	0.050
HDPE	0.007
Poliuretano	0.009
Concreto	0.011

Fuente: Roval Industria y Comercio S.A.C

- Criterios de la capacidad de secado de aire húmedo

Para el dimensionamiento del sistema de flujo de aire húmedo, se tendrá las siguientes consideraciones:

1. El espesor de la manguera a usar deberá soportar todas las presiones que ejerzan sobre la misma.
 2. La manguera debe de tener una protección aislante a la temperatura del medio ambiente
 3. El diámetro de la manguera deberá de ser de al menos 5/32”.
 4. Las mangueras deberán ser sujetas por abrazaderas de acero inoxidable en el conexionado con los depósitos de Tamiz molecular.
 5. Los agujeros por donde se ingresará las mangueras se deben de sellar con silicona para altas temperaturas.
 6. La capacidad de la bomba de vacío estará sujeta a la velocidad del caudal del aire recirculante medida en la entrada y salida de los depósitos de Tamiz Molecular [4].
- Criterios de la capacidad de humectación para aires secos
1. El espesor de la manguera a usar deberá soportar todas las presiones que ejerzan sobre la misma.
 2. El diámetro de la manguera deberá de ser de al menos 5/32”.
 3. Las mangueras deberán ser sujetas por abrazaderas de acero inoxidable en el conexionado a la cámara generadora de vapor.

4. Los agujeros por donde se ingresará las mangueras se deben de sellar con silicona para altas temperaturas.
 5. El aire seco será recirculado por la cámara generadora de vapor por ultrasonido, teniendo en cuenta que dicha cámara solo estar en actividad en el momento que se requiera humedecer el aire a recircular [4].
- Criterios de la capacidad de enfriamiento y calentamiento de las celdas Peltier
 1. La celda Peltier estará ubicada de tal manera que tendrá dos disipadores en cada lado.
 2. Se utilizará disipadores de aluminio para obtener una mejor propagación y disipación del calor y frío generado según se requiera.
 3. El lado generador de frío de la celda Peltier se ubicará en dirección al interior del volumen de trabajo.
 4. Se contará con un ventilador instalado de tal manera que la dirección del aire que haga recircular sea desde el centro del volumen de trabajo hacia las paredes del lado frío de la celda Peltier y así se logre que el aire se enfríe.
 5. La generación de calor y frío será controlada por un controlador de temperatura que a su vez estará conectado a un puente H y de esta manera se pueda alternar la generación de calor y frío según se requiera [5].

3.3.6 Bases de Cálculos para potencial del material desecante

Para secar el aire húmedo se utilizó el tamiz molecular la cual tiene propiedades de absorber los restos de agua que contiene el aire, de tal manera que nos permite obtener aire seco hasta en un 5% de humedad relativa. Para los estudios realizados se utilizó dos frascos de tamiz molecular los cuales conectados a un sistema de circulación de aire húmedos proveniente de una cámara generadora de humedad por ultrasonido que es impulsado por una bomba vacío la cual hace circular el aire húmedo por medio de los frascos llenos en su totalidad del tamiz molecular (ver Figura 7), obteniendo así que el aire que contiene partículas de agua choque con los granos de tamiz molecular provocando que este absorba la humedad del aire circulante y se obtenga de esta manera a la salida del sistema descrito aire con un porcentaje de al menos 5% de humedad relativa la cual es medida para su verificación con un higrómetro calibrado (ver Anexo 1).

RESULTADOS DE ENSAYO DE ADSORCIÓN PARA EL TAMIZ MOLECULAR 4mm			
Medición en entrada	Medición en salida		Potencia del motor
% de rh en el fluido	1 frasco de TM	2 frascos de TM	
90	74	58	100%
80	62	48	
70	55	32	
60	42	23	
50	31	10	
40	20	5	

Figura 7. Resultados absorción para el tamiz molecular
Fuente: Elaboración propia

3.3.7 Parámetros de Diseño

Para el cálculo de potencia se consideraron los siguientes parámetros:

Características de los sensores

Las características de los sensores se consideró lo establecido en el anexo 2 (ver Anexo 2) y se describen en la siguiente tabla (ver Tabla 88).

Tabla 8. Características del sensor

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Rango de medición Humedad	10 a 100	%hr
2	Rango de medición Temperatura	-20 a 120	°C
2	Salida analógica	0 a 10	V
3	Precisión Humedad	0.1% de la lectura	%hr
4	Precisión Temperatura	0.05% de la lectura	°C
5	Tensión de alimentación	24	V/dc
6	Corriente de consumo	10	mA/dc

Fuente: Elaboración propia

3.3.8 Características de los controladores

Las características de los sensores se describen en la Tabla 9.

Tabla 9. Características del controlador

Ítem	Descripción	Valor	Unidad
1	Lectura de señal analógica	0 a 10	%hr
2	Elección de Magnitud para mostrar	Temperatura, Humedad	°C/%hr
2	Resolución	0,01	
3	Precisión de lectura	0.05% de la lectura	V
4	Ajuste multipunto	2, 3, 4, 5 hasta 10 putos.	
5	Tensión de alimentación	24	V/dc

Fuente: Elaboración propia

3.3.9 Condiciones de trabajo

La cámara de humedad será diseñada para trabajar en un ambiente con condiciones ambientales de temperatura y humedad siendo estas:

- Temperatura : 18°C a 21°C
- Humedad : 40% hr a 75% hr

En la siguiente figura se muestra el sistema de aire acondicionado (ver Figura 8).



Figura 8. Sistema de Aire Acondicionado
Fuente: Norma ISO 17025

3.3.10 Diagrama P&ID del Sistema

El diagrama P&ID muestra el recorrido de las tuberías y los componentes que están relacionados al flujo del proceso. A continuación, se presenta el esquema del flujo de aire recirculante (ver Figura 9).

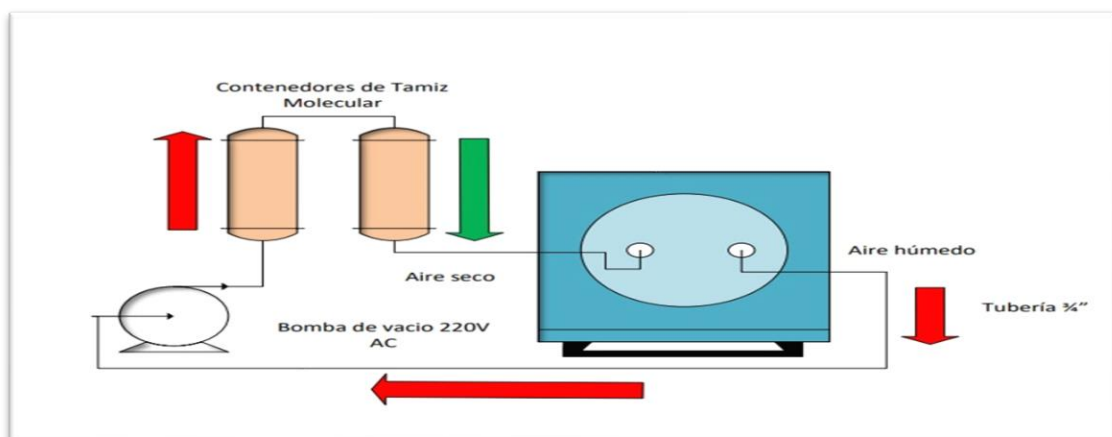


Figura 9. Esquema de la recirculación de flujo húmedo-seco
Fuente: Elaboración propia

Seguidamente, se muestra el esquema del flujo de aire húmedo (ver Figura 10).

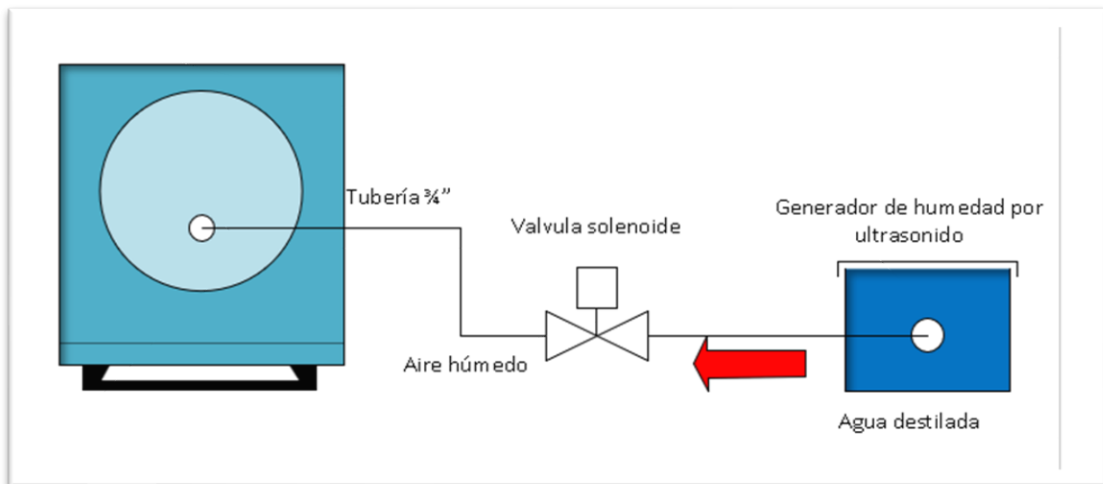


Figura 10. Esquema de la recirculación de flujo húmedo
Fuente: Elaboración Propia

3.4 Evaluación del proyecto

3.4.1 Evaluación de Dimensionamiento

Como primer paso para realizar la optimización y mejora del sistema de refrigeración y calentamiento del volumen de trabajo se tiene como consigna el análisis de una celda peltier y sus disipadores para obtener la potencia de refrigeración y a su vez poder dimensionar el volumen que se podrá controlar en un tiempo determinado. A continuación, se muestra una celda Peltier instalada con un disipador térmico (ver Figura 11).

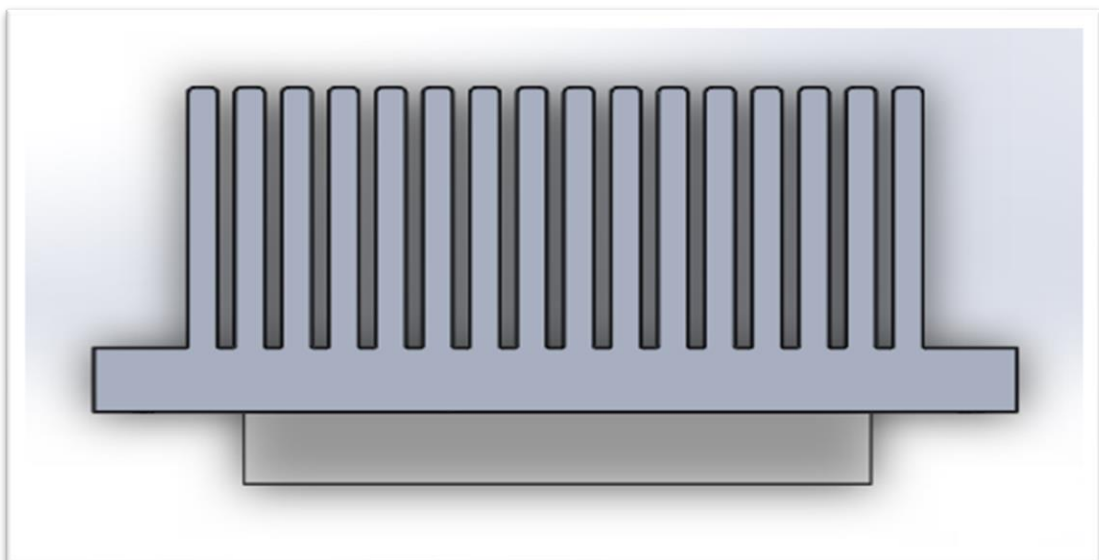


Figura 11. Celda Peltier instalado con disipador térmico
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra el análisis térmico de una celda Peltier instalada con un disipador térmico de aluminio utilizando el software SOLIDWORK (ver Figura 12).

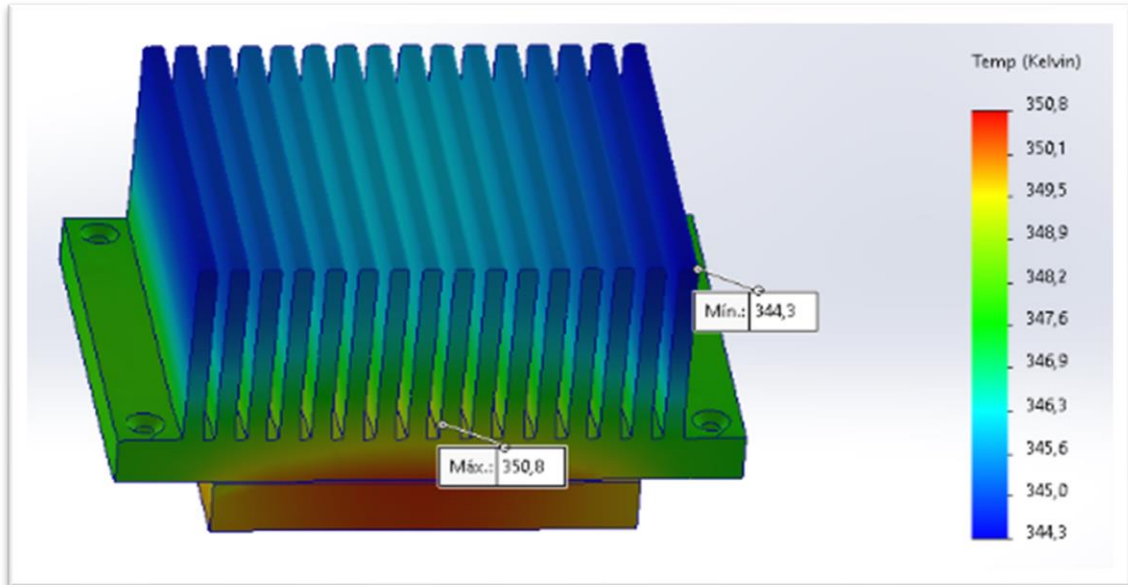


Figura 12. Celda Peltier instalada con disipador de aluminio.
Fuente: Elaboración propia

El objetivo fue caracterizar el rendimiento de la celda Peltier que se utilizó, en este caso el modelo TEC1-12706 cuya hoja de datos se adjunta en el anexo 3 (ver Anexo 3).

Según hoja de datos para utilizar la capacidad máxima de nuestra celda Peltier el lado caliente se mantuvo a una temperatura no mayor a 25°C lo cual nos permite trabajar utilizando la mayor eficiencia de la celda Peltier. Para poder trabajar a esa temperatura se dimensionó un disipador de aluminio con un volumen 6 veces mayor al disipador instalado en el lado frío y de esta manera poder disipar el calor generado por el lado caliente y no logre superar los 25 grados ya que la temperatura fue contrarrestada por el viento frío que es lanzado por el ventilador instalado en la parte posterior del disipador de gran tamaño. A continuación, se aprecia el sistema de disipación del lado caliente y del lado frío de la celda Peltier, para una mayor disipación del calor se utilizó un ventilador de 3600 rpm (ver Figura 13).

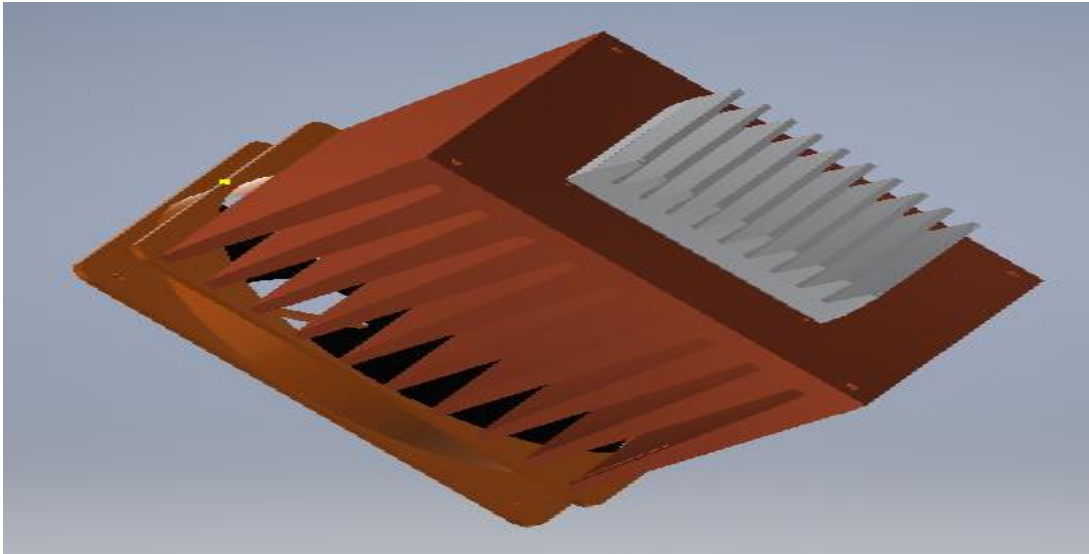


Figura 13. Sistema de disipación de calor de la parte caliente y fría de una celda Peltier
Fuente: Elaboración propia

A continuación, se tiene la Figura 14, donde se aprecia la instalación de un ventilador de 3600 rpm con el fin de optimizar el enfriamiento del lado caliente de la celda Peltier.

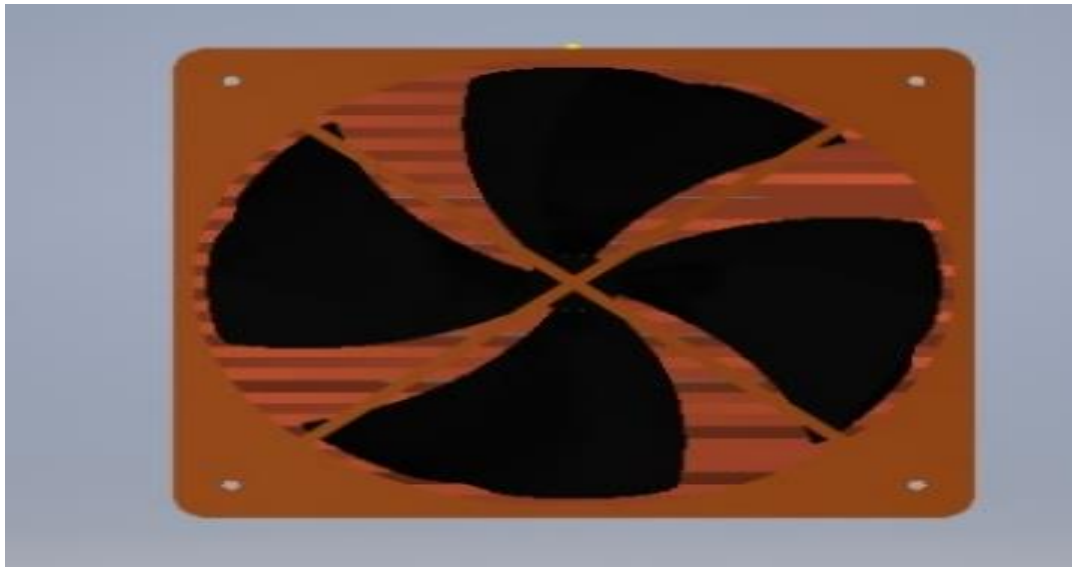


Figura 14. Sistema de disipación de calor de la parte caliente de una celda de Peltier
Fuente: Elaboración propia

Se conocen como efectos termoeléctricos a aquellos en los que se observa una relación entre la electricidad y la termodinámica. Los más conocidos entre ellos son el efecto Joule, el efecto Seebeck, y el efecto Peltier. El primero se asocia al calentamiento que se observa en un material conductor, cuando a través de él se hace circular una corriente I , y éste posee una resistencia R :

$$\frac{dQ}{dt} = I^2 * R \text{ Ecuación 9}$$

Donde Q es el calor disipado. Cuando existe una diferencia de temperatura ΔT entre los extremos de un conductor, los portadores de carga difunden en contra del gradiente de temperatura, dando origen a una fuerza electromotriz E:

$$\alpha_{AB} = \frac{\delta \varepsilon}{\delta T} \text{ Ecuación 10}$$

Por otro lado, el efecto Peltier puede considerarse como el efecto recíproco: si se hace circular una corriente por un circuito formados por dos tipos distintos de conductores, se genera una diferencia de temperatura entre las junturas, proporcional a la corriente I:

$$\frac{dQ}{dt} = \Pi_{AB} I \text{ Ecuación 11}$$

Una celda Peltier es un arreglo de termopares (parde semiconductores dopados, de tipo P y tipo N), conectados en serie con las junturas ubicadas alternadamente sobre las dos caras. Dichas caras están recubiertas de un material cerámico (ver Figura 15).



Figura 15. Celda Peltier diseño interno

Fuente: https://www.arduinove.com/index.php?route=product/product&product_id=640

Para realizar el cambio de generación de calor a y frío a calor se utilizó un puente H con la propiedad de manejar cargas hasta de 40 amperios. El módulo BTS7960. El Driver BTS7960 de alta potencia soporta hasta 43 Amperios, voltaje de control 5V aislado del driver por un 74HC244D para que pueda proteger el sistema de control con eficacia, este módulo puede efectuar la inversión de polaridad, soporta desde 5.5V hasta 27V para voltaje de carga (ver Figura 16).

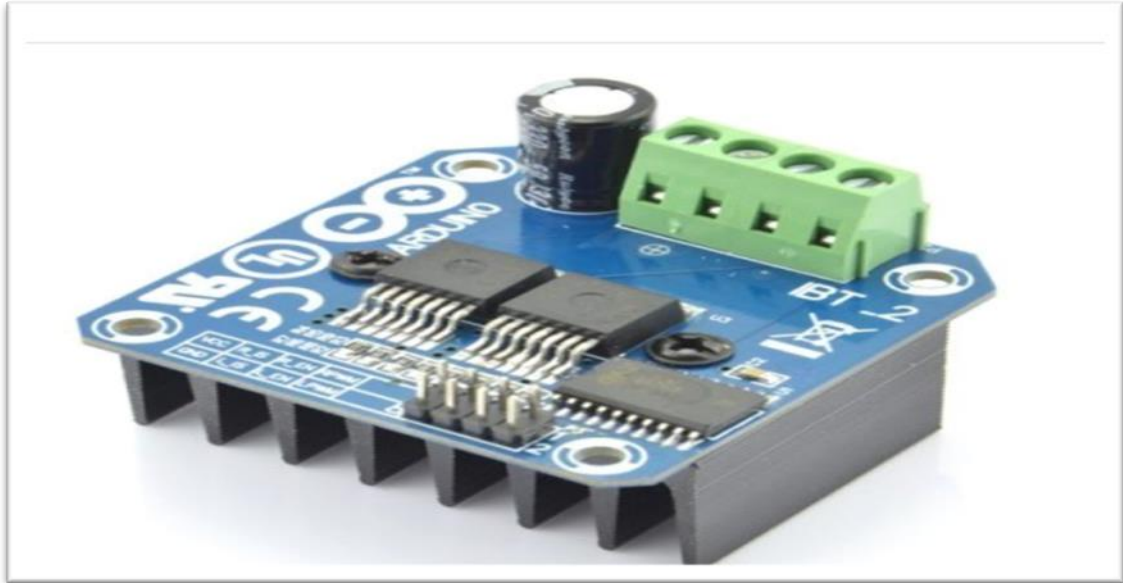


Figura 16. Modulo Bts7960

Fuente: <https://www.bigtronica.com/motores/drivers/335-driver-puente-h-40a-bts7960-5053212003357.html>

El control para el manejo de la celda Peltier está dado por el módulo de potencia BTS7960 y a su vez este es controlado por un controlador valga la redundancia, que tiene la característica de poseer dos señales de salidas, las cuales se encienden dependiendo del punto de consigna configurado por el usuario. La primera salida se encarga de controlar el enfriamiento de la celda Peltier y la segunda se encarga de controlar el calentamiento de la misma celda pudiendo así de esta manera conseguir puntos de consigna en temperaturas por encima de los 20°C hasta los 40°C y por debajo de los 20°C hasta los 10°C. El tipo de control que realiza es un control proporcional, integral y derivativo, pudiendo de esta manera lograr establecerse y alcanzar el punto térmico requerido. A continuación, se muestra el diagrama de control de la celda Peltier utilizando el módulo de puente H (ver Figura 17).

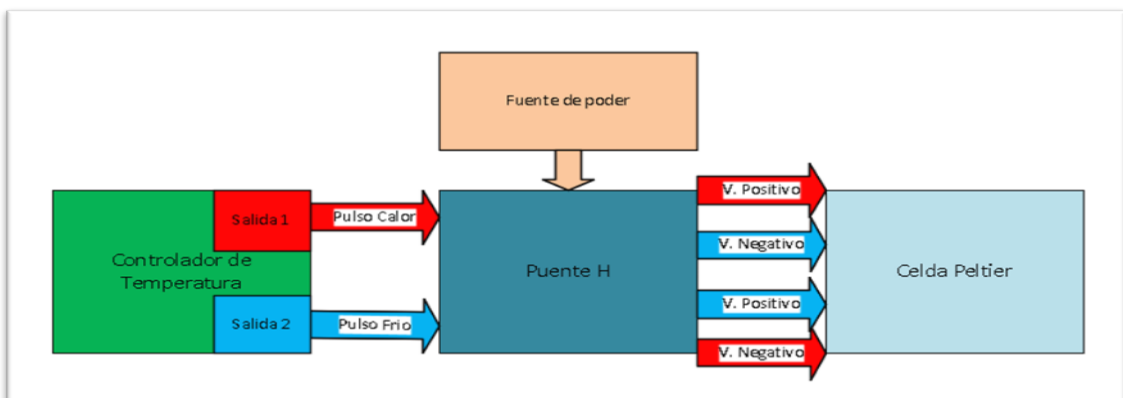


Figura 17. Diagrama de Control de la celda Peltier.

Fuente: Elaboración propia

El control del porcentaje de humedad es realizado por un controlador que posee dos señales de control, con la primera señal se activa un relay de estado sólido el cual se utilizó para aislar la parte de potencia con la de señal de control, el relay deja pasar la corriente permitiendo así el encendido de una bomba de vacío, la cual hace recircular el aire que se encuentra en el interior de la cámara hacia los depósitos de tamiz molecular para luego llegar de nuevo al interior de la cámara, pero con un porcentaje menor de humedad, realizando de esta manera el secado del aire húmedo.

Por otra parte, la función de la segunda señal de control activa un segundo relay de estado sólido el permite el paso de corriente para activar una válvula solenoide que logra controlar la apertura y cierre del paso del aire húmedo generado en un recipiente donde se tiene instalado un generador de vapor por ultrasonido, consiguiendo con esto el paso del aire húmedo hacia el interior de la cámara para humedecer el aire, esto según se requiera dependiendo del punto de consigna preconfigurado por el usuario. A continuación, se muestra el diagrama de control del porcentaje de humedad, utilizando dos unidades relay de estado sólido para aislar la parte potencia de las señales de control (ver Figura 18).

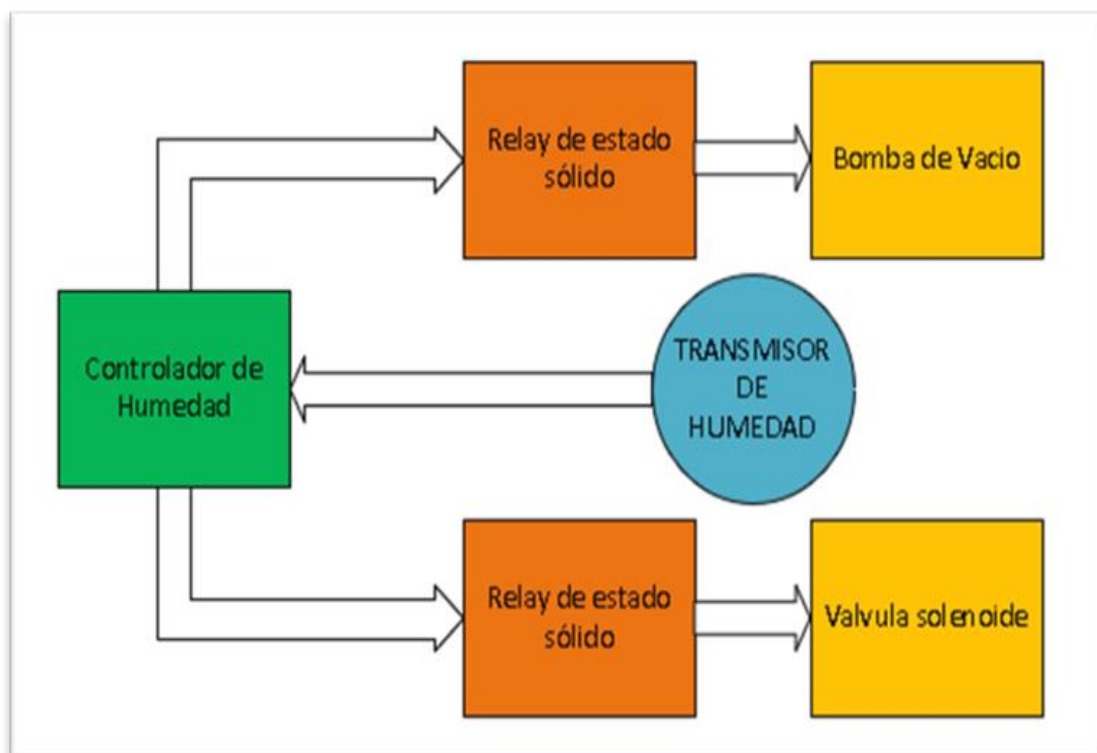


Figura 18. Diagrama de control de la celda Peltier.
Fuente: Elaboración Propia

Un relay de estado sólido es un dispositivo eléctrico que en su interior cuenta con un circuito electrónico que permite el control de cierta corriente nominal a partir de una señal eléctrica ya sea de un voltaje o de una corriente, en nuestro caso se utilizó dos relay de estado sólido de 25 amperios como corriente nominal, como los relay de estado sólido tienden a manejar el paso de corrientes elevadas por consiguiente tienden a generar calor el cual será disipado por un trozo de aluminio llamado disipador térmico el cual se coloca en la parte posterior del relay de estado sólido, permitiendo de esta manera que el relay no llegue a calentarse de tal manera que pueda dañar el circuito electrónico que posee en su interior (ver Figura 19).



Figura 19. Relay de estado sólido con disipador de calor.
Fuente: https://es.maxwell-fa.com/accessories_c18

3.4.2 Evaluación del transmisor de temperatura y humedad a utilizar

Para evaluar el transmisor de temperatura y humedad que se requirió utilizar, se realizó el análisis de precisión y deriva con un lapso de tiempo de tres meses. El primer criterio que se tenía para analizar el transmisor era su precisión que debería ser menor o igual al 2% humedad relativa y con un 0,3°C de temperatura. El segundo criterio sería el análisis de su deriva en tres meses luego de tomar una lectura inicial, obteniendo así el factor de deriva calculado por la siguiente formula:

$$Deriva = \frac{Error\ final - Error\ Inicial}{Tiempo(meses)} \quad \text{Ecuación 12}$$

El factor de deriva debería ser cero o algún valor cercano a cero en la escala de las centésimas de grados Celsius. El transmisor que se llegó a utilizar generaba una señal de voltaje de 0 a 10 voltios para la humedad y de 0 a 10 voltios para la temperatura. El transmisor cuenta con tres cables los cuales son una tierra un señal de voltaje para la temperatura y una señal de voltaje para la humedad la cual tenía que ser escalada por motivos de que el controlador permitía medir señales análogas de voltaje de 0 a 5 voltios, lo que se hizo para solucionar este inconveniente fue armar un divisor de voltaje de tal manera que se tenga en la salida del divisor de voltaje una señal de 5 voltios para

que así se pueda trabajar con la entrada de señal analógica en voltios de los controladores de humedad y temperatura (ver Figura 20).

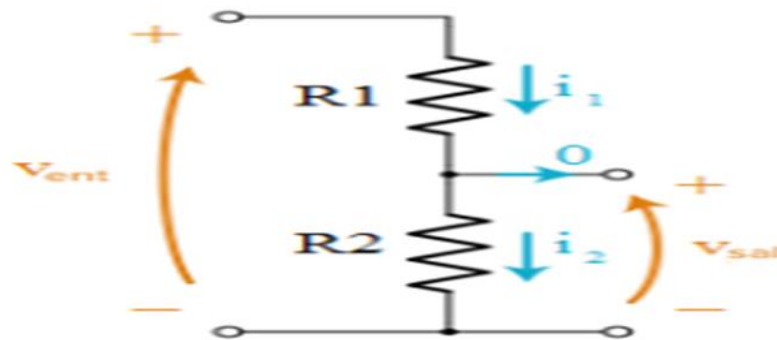


Figura 20. Transmisor de Temperatura y Humedad
Fuente: Elaboración propia

$$V_{salida} = V_{entrada} * \frac{R2}{R1+r2} \text{ Ecuación 13}$$

$$V_{salida} = 10\text{voltios} * \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 10k\Omega}$$

$$V_{salida} = 5\text{voltios}$$

3.4.3 Evaluación general para dimensionar la bomba de vacío

Se evaluó los siguientes parámetros:

- Presión máxima generada por la bomba de vacío.
- Diámetro de tubería para el caudal de aire a generar con la bomba de vacío.
- Potencia de la bomba de vacío.
- Alimentación de la bomba de vacío.
- Bomba de vacío a pistón sin aceite de la serie KV15

Se eligió la bomba de vacío a pistón sin aceite del rango KV ya que por su mayor seguridad operativa como, por ejemplo, en aplicaciones de 24 horas al día, los 7 días de la semana. Las bombas de vacío a pistón sin aceite ofrecen como una bomba de dos fases, un vacío de hasta 30 mbar. La característica de las bombas de vacío a pistón sin aceite son los soportes integrados y sobredimensionados. Como resultado, se obtiene la mejor vida útil y confiabilidad posible de una bomba de vacío (ver Anexo 4). La capacidad de succión de las bombas de vacío a pistón sin aceite

de la serie KV se mantiene inalterable después de muchos cientos de horas de funcionamiento debido a la alineación exacta de sus componentes (ver Figura 21).



Figura 21. Bomba de vacío
Fuente: <https://Duerr-Technik.Eu/Kv15-2.Html>

3.4.4 Dimensionamiento de la fuente de voltaje continuo

Para el dimensionamiento de la fuente de poder se realizó el cálculo de la suma de las corrientes para controlar las celdas Peltier, los ventiladores, el transmisor de temperatura y humedad y los controladores de temperatura y humedad (ver Tabla 10).

Tabla 10. Voltajes y corrientes de fuente.

	Celda Peltier	Ventiladores	Controladores	
Voltage (V)	12	12	24	5A
Consumo (A)	4,5	0,6	1	
Cantidad	1	2	2	

Fuente: Elaboración propia

La fuente de voltaje debería ser de dos salidas distintas de voltaje una salida a 12 voltios y una salida a 24 voltios y debería superar los 5 amperios por lo que se eligió una fuente conmutada con doble salida 12 y 24 voltios con una corriente de hasta 10 Amperios como máximo (ver Figura 22).



Figura 22. Fuente de Poder Switching de 40 Amperios

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.pe/MPE-647650230-fuente-poder-switching-24v-20amp-480w-fuentes-certificadas-_JM#position=22&search_layout=stack&type=item&tracking_id=3137b9a1-e9f5-47ed-9873-137ddcfaa7ef

3.4.5 Dimensionamiento del sistema generador de aire húmedo

Para el dimensionamiento del sistema generador de aire húmedo se tendrá en cuenta la forma de generar la humedad y el tipo de agua que se utilizará para la generación de humedad. En los equipos de laboratorio donde interviene el agua como líquido a tratar es recomendable utilizar agua destilada con el propósito de evitar la acumulación del sarro, y por otro lado la forma de generar humedad será por ultrasonido basado en un circuito resonante de alta frecuencia. El cerámico que se hará resonar se encontrará en la parte inferior de un envase adaptado para el depósito del agua destilada pudiendo así generarse la humedad de tal manera esta pueda ser aprovechada para su ingreso pudiendo humidificar el volumen de trabajo (ver Figura 23).



Figura 23. Disco cerámico para humidificador

Fuente: Elaboración propia

El sistema que apertura la salida e ingreso de la humedad es controlada por una válvula de apertura y cierre (on-off), la cual será debidamente dimensionada para lograr el golpe exacto de humedad cuando se requiera (ver Figura 24).



Figura 24. Electroválvula 1/16" para gas
Fuente: Elaboración propia

Datos: Se considera los siguientes datos para el primer análisis de humidificación del aire en el volumen de trabajo (ver Tabla).

Tabla 11. Datos de ingreso para análisis

Parámetro	Unidad	Valor
Datos		
Volumen de trabajo	Litros	15
Diámetro de manguera de silicona	Pulgadas	1/16

Fuente: Elaboración propia

Resultados: Los resultados obtenidos se detallan a continuación (ver Tabla 12).

Tabla 12. Resultados análisis inicial

Parámetro	Unidad	Condición	
		Mínimo	Máximo
Resultados			
Humedad relativa	%rh	70	90

Fuente: Elaboración propia

El primer estudio preliminar cumple con los parámetros mínimos necesarios para dimensionar el sistema generador de humedad.

3.4.6 Ensamblaje del sistema

Los sistemas de calefacción, humidificación, secado y parte de control del sistema se han colocado como indica en el esquema (ver Figura 25, 26, 27 y 28).

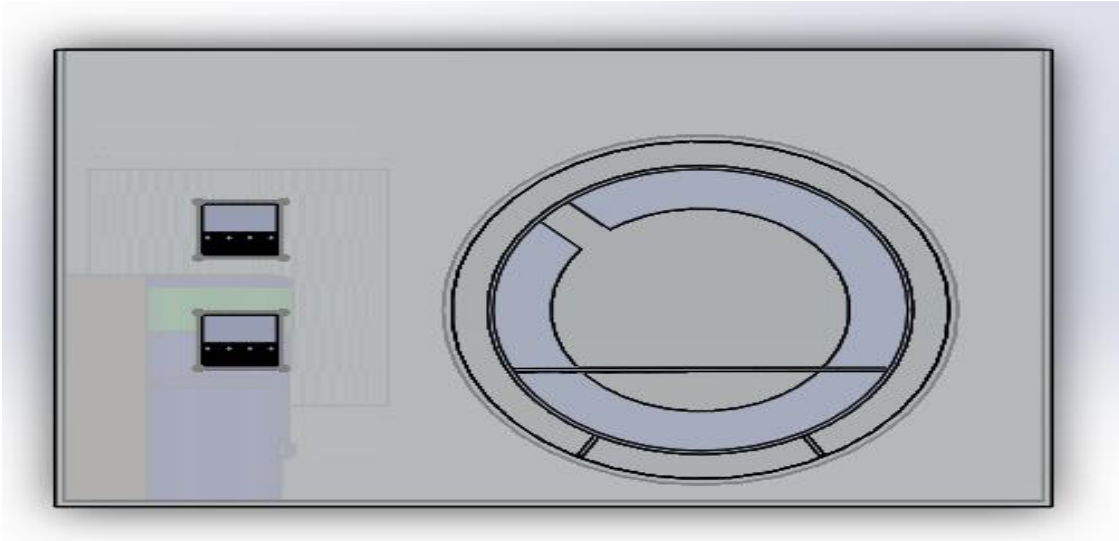


Figura 25. Ensamblaje del Proyecto Cara Frontal
Fuente: Elaboración Propia

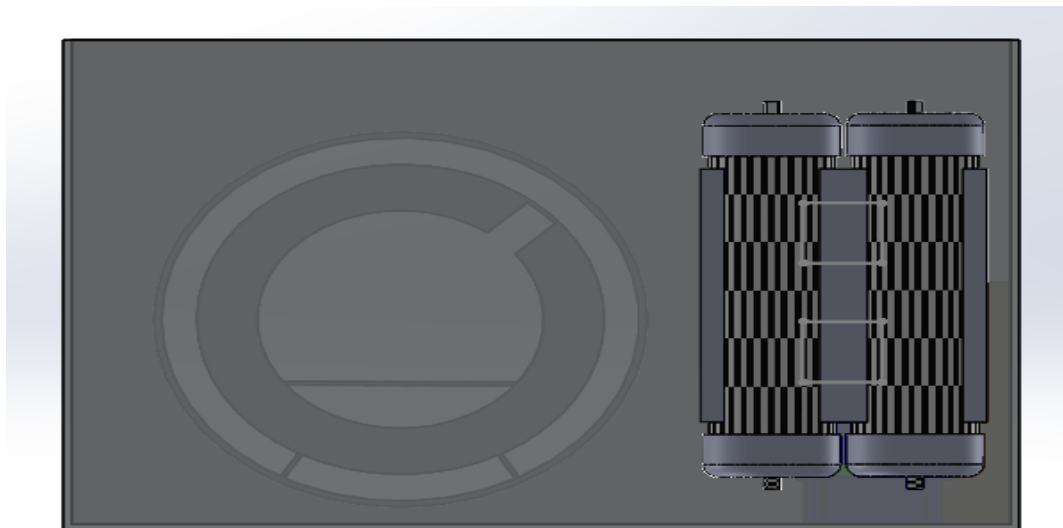


Figura 26. Ensamblaje del Proyecto Cara Posterior
Fuente: Elaboración Propia

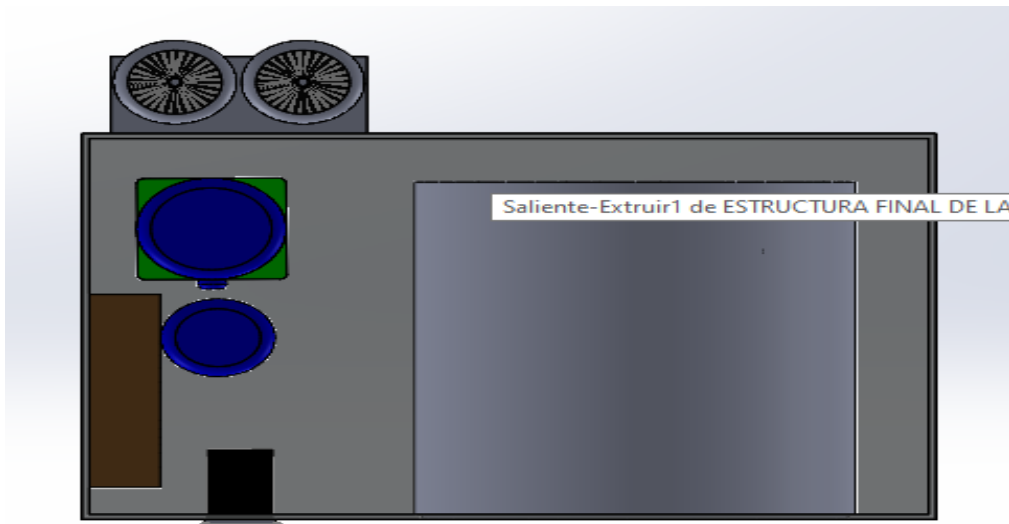


Figura 27. Ensamblaje Del Proyecto Cara Superior
Fuente. Elaboración Propia

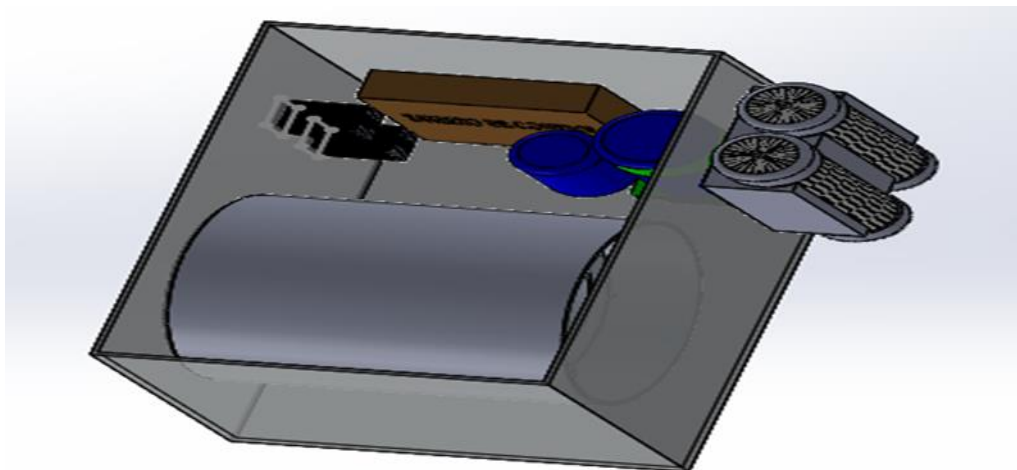


Figura 28. Ensamblaje del Proyecto Cara Superior Diagonal
Fuente: Elaboración Propia

3.4.7 Medición de temperatura y humedad del sistema

Descripción: La medición de temperatura y humedad del sistema se realizará por medio de un transmisor de temperatura y humedad el cual será energizado con 24 voltios y en respuesta de ellos obtenemos dos señales cada una correspondientes a la temperatura y humedad medida en ese instante. Las señales que genera el transmisor pasaran por una tarjeta electrónica de acondicionamiento de señal, la cual se encarga de escalar esta señal de los 0V a 10V a una señal de 0V a 5V la cual nos permite trabajar con los puertos de entrada analógica del controlador.

Además, el tipo de control que se configuró en los controladores dicho sea de paso cada uno encargado de una magnitud diferente “temperatura” y “humedad”, fue el control PID con parámetros de las constantes proporcionales, integrales y derivativas halladas por la misma lógica del controlador permitidos por la función Autotune”, la cual permite hallar los valores más cercanos que permiten la sintonización del control PID (ver Anexo 5).

Por otra parte, el control de temperatura se tiene las celdas Peltier cuya propiedad de generar calor o frío según se inviertan los polos de la alimentación de dicho componente, se determina la mejor manera de hallar mejor estabilización y evitar los golpes de calor o frío en el proceso. Para el control de humedad se tiene la bomba de vacío y el depósito de Tamiz molecular cuyas partes forman el sistema de secado del aire húmedo, por otra parte, tenemos el generador de humedad por ultrasonido y la electroválvula para la apertura y cierre del vapor generado.

Seguidamente, se muestra la ubicación del transmisor de temperatura y humedad (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.9**).



Figura 29. Ubicación del Transmisor de Temperatura y Humedad.
Fuente: Elaboración Propia

Luego de ensayar mediciones de temperatura y humedad en la cámara climática, se pudo determinar qué el control con más dificultad de lograr era el control de humedad a razón de ello se realizó un ensayo participando en secuencia, primero se realizó únicamente el control de temperatura y una vez estabilizada la temperatura se realizó el control de humedad, lográndose así un mejor control empleando menor tiempo de estabilización.

Datos: En la siguiente figura se observan los resultados obtenidos (ver Figura 30).

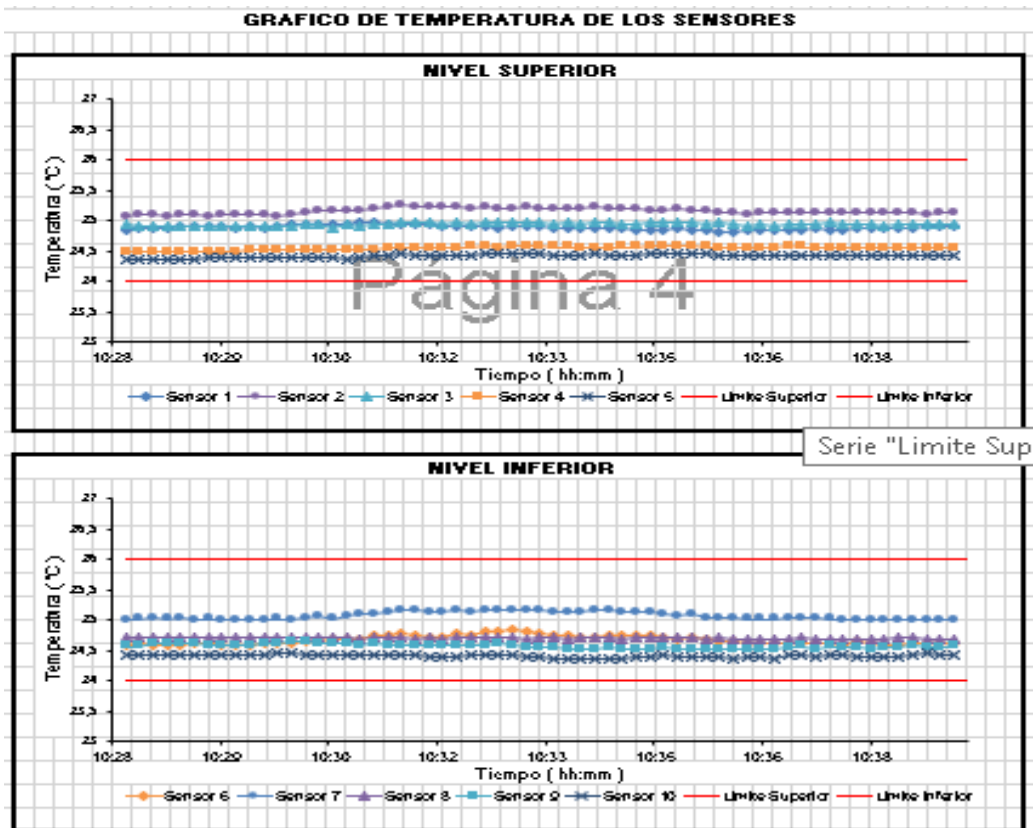


Figura 30. Resultados Temperatura y Humedad
Fuente: Elaboración propia

3.4.8 Cálculo de estabilidad y uniformidad del sistema

Para el cálculo de la estabilidad y uniformidad del sistema se utilizó un registrador de temperatura con sensores RTD cuya resolución fue de 0,01 y se aplicaron los cálculos según la guía francesa para el cálculo de la humedad a partir de la temperatura de rocío. Se utilizaron 9 sensores de temperatura, un sensor de presión colocado en el medio del sistema (ver Figura 31 y 32).

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	25,50	0,51
Mínima Temperatura Medida	24,35	0,62
Desviación Temperatura en el Tiempo	0,26	0,08
Desviación Temperatura en el Espacio	0,75	0,61
Estabilidad Medida (±)	0,13	0,04
Uniformidad Medida	0,87	0,61

Figura 31. Resultados de medición en °C
Fuente: Elaboración propia

Parámetro	Valor (%rh)	Incertidumbre Expandida (%rh)
Máxima Humedad Medida	50,03	0,32
Mínima Humedad Medida	49,98	0,34
Desviación Humedad en el Tiempo	0,12	0,05
Desviación Humedad en el Espacio	0,25	0,06
Estabilidad Medida (±)	0,06	0,04
Uniformidad Medida	0,08	0,04

Figura 32. Resultados de medición en porcentaje de humedad relativa (%rh)
Fuente: Elaboración propia

Estabilidad: En un medio isoterma, la estabilidad se refiere a la capacidad del medio para mantener una temperatura constante en toda su extensión cuando se le somete a perturbaciones externas. En otras palabras, un medio isoterma es estable si su temperatura no varía significativamente con el tiempo ni con cambios en las condiciones externas, como cambios en la temperatura del entorno o en la fuente de calor.

Uniformidad: La uniformidad en un medio isoterma se refiere a la consistencia en la distribución de la temperatura en todo el medio. En un medio isoterma perfectamente uniforme, la temperatura sería la misma en todos los puntos del medio, sin importar la ubicación. En la práctica, la uniformidad puede variar dependiendo de la precisión con la que se controla la temperatura y de la presencia de gradientes de temperatura en el medio.

3.4.9 Análisis de los cálculos obtenidos

Descripción: El análisis de los cálculos obtenidos se realizó en una hoja de cálculo desarrollada en el software Excel 2016, donde se insertan las fórmulas y los valores de mediciones de los 9 sensores utilizados por un tiempo de 60 minutos. Los criterios de aceptación para los cuales fue diseñado la cámara climática se muestran a continuación (ver Figura 33).

Criterio de aceptación	Cumple
<i>Estabilidad de la cámara climática $\leq 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>	SI
<i>Uniformidad de la cámara climática $\leq 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$</i>	SI
<i>Estabilidad de la cámara climática $\leq 0,3\text{ \%rh}$</i>	SI
<i>Uniformidad de la cámara climática $\leq 0,5\text{ \%rh}$</i>	SI

Figura 33. Criterios de aceptación
Fuente: Elaboración propia

3.5 Generalidades de materiales

3.5.1 Acero

El acero que se utilizó es un acero inoxidable de clase 304 que permite la menor acumulación de oxido ya que el trabajo realizado por el equipo siempre esta sometidos a constantes cambios de humedad. Las características de este tipo de acero son: 1) Excelente formalidad. 2) Apariencia estética. 3) Resistencia a la corrosión. 4) Prevención de la contaminación de productos. 5) Resistencia a la oxidación. 6) Felicidad de limpieza. 7) Alta Resistencia y bajo peso. 8) Buena resistencia y estabilidad a temperaturas criogénicas (ver Figura 34).

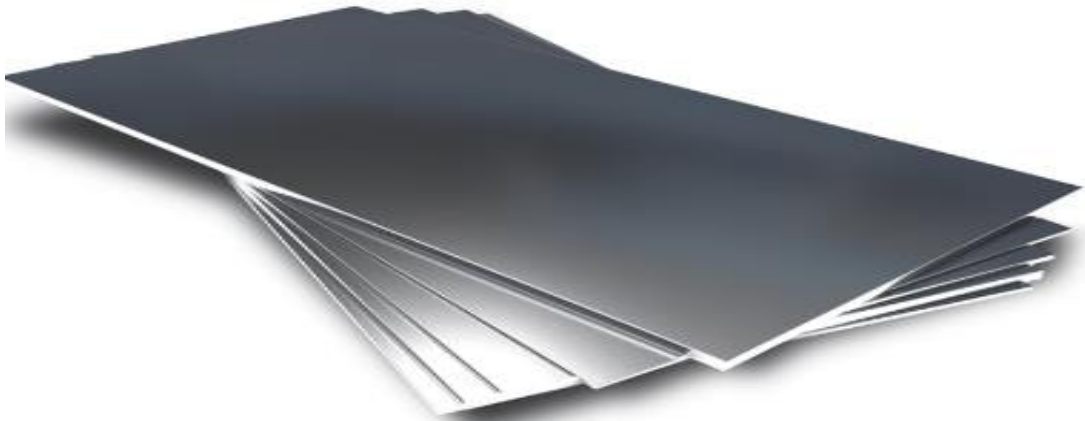


Figura 34. Plancha de acero clase 304
Fuente: <https://Impordycom.Com/Services/Planchas/>

3.5.2 Mangueras de silicona

Las mangueras de silicona utilizadas evitan la transferencia de la temperatura con el medio externo permitiéndonos así un mejor control de temperatura requerido, por otro lado, las propiedades de esta manguera nos permiten aprovechar su mejor flexibilidad para no minorar el diámetro necesario para el flujo del aire seco y/o húmedo (ver Figura 35).



Figura 35. Manguera Siliconada 3/4".
Fuente: <https://servielectromedica.com/producto/manguera-siliconada-14x716-grado-medio-x15-mt/>

3.5.3 Filamento Pla

Se utilizó el Pla de la marca ESSUN en su presentación de 1kg, para imprimir algunas partes del generador de humedad y los tapones de los depósitos del tamiz moléculas. Haciendo uso de una impresora 3d se realizó la impresión de las partes necesarias para el sistema previo diseño de estas en el software SolidWorks 2022 (ver Figura 36).



Figura 36. Filamento Essun color negro.

Fuente:

https://tienda3dcadperu.com/product/abs-esun-negro/?gad_source=1&gclid=cjwkcajw0ygybhbyeiwaqmbewuhkgrav8_sqwlaqrbamrk86jea2yey4kmue99j-mcypkhwrfujzboedp8qavd_bwe

3.5.4 Silicona de alta temperatura

Se utilizó silicona de alta temperatura para hermetizar las partes de las conexiones de los depósitos de tamiz moléculas y los accesos del transmisor de temperatura y humedad, permitiendo así la menor influencia del medio externo hacia el volumen de trabajo (ver Figura 37).



Figura 37. Silicona de alta temperatura

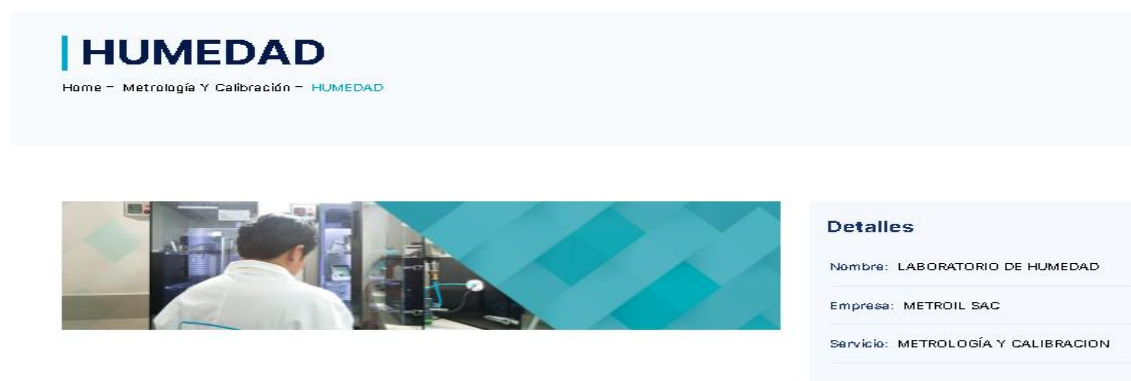
Fuente: <https://ferretoolssac.com/inicio/107-silicona-automotriz-gris-3-ozs-abro-999-9-ab.html>

CAPÍTULO IV: APORTES A LA INSTITUCIÓN

La implementación de la cámara climática en Metroil representa un avance estratégico en el ámbito de la metrología, al permitir la calibración de equipos con mayor exactitud y un rango de medición ampliado. Esto no solo mejora la calidad del servicio brindado a los clientes, sino que también posiciona a la empresa como un referente en el sector; por lo tanto, la capacidad de ofrecer calibraciones con mayores niveles de precisión y trazabilidad reduce la dependencia de laboratorios externos, lo que impacta positivamente en los costos operativos y en los tiempos de entrega de certificaciones. Además, la diversificación de los servicios fortalece la competitividad de Metroil en el mercado nacional y abre oportunidades de expansión a nivel internacional.

Otro aporte clave de este desarrollo es la optimización de la gestión de recursos dentro de la empresa, pues con la calibración interna de equipos de referencia, Metroil logra un mejor control sobre los procedimientos de calidad, asegurando consistencia en las mediciones y reducción de incertidumbre; de allí que, la implementación de esta tecnología fomenta la especialización del personal, brindando oportunidades de capacitación en sistemas de control ambiental y calibración avanzada, logrando que la empresa cuente con un equipo más calificado para enfrentar los desafíos tecnológicos del sector.

Finalmente, la apuesta por la innovación a través de la cámara climática impulsa el crecimiento sostenible de Metroil, por cuanto, la reducción de costos en trazabilidad y la mejora en la exactitud de las mediciones contribuyen a una mayor eficiencia operativa, permitiendo reinvertir en investigación y desarrollo de nuevas soluciones en metrología. Asimismo, la adopción de tecnologías de automatización y control de variables ambientales posiciona a Metroil como una empresa moderna y alineada con las exigencias del mercado. Este proyecto no solo representa un beneficio inmediato en términos operativos y económicos, sino que también sienta las bases para la evolución y consolidación de la empresa en el largo plazo. (ver Figura 38).



LABORATORIO DE HUMEDAD

Figura 38. Portada de Catálogo Metroil S.A.C. Laboratorio de Humedad
Fuente: Metroil S.A.C.

Por otra parte, es relevante destacar que el análisis de los transmisores de temperatura y humedad permitió identificar con precisión la deriva real del sensor seleccionado, optimizando su desempeño en el proceso de calibración. Además, el estudio de calefacción y refrigeración de la celda Peltier facilitó el cálculo del volumen de trabajo ideal sin comprometer la precisión de las mediciones; asimismo, el análisis de las cerámicas de ultrasonido proporcionó información clave sobre la cantidad óptima necesaria para generar vapor de agua suficiente en la cámara climática.

De igual manera, la evaluación del material desecante, específicamente el tamiz molecular, posibilitó un uso eficiente del recurso para secar el aire en el menor tiempo posible. En términos de control, se estableció que primero se debe estabilizar la temperatura antes de regular la humedad, asegurando un proceso ordenado y efectivo, también, la implementación de un anillo revestido de caucho con dos labios de contacto mejoró la hermeticidad de la cámara, garantizando un ambiente completamente controlado.

Las mediciones de temperatura y humedad realizadas en el volumen de trabajo permitieron ajustar con precisión los indicadores de control, asegurando estabilidad en el sistema. Como resultado, se logró alcanzar la uniformidad y estabilidad requeridas para la implementación del diseño, validando la eficacia de la metodología aplicada; por lo tanto, se confirmó que el dimensionamiento y la selección de materiales cumplían con los requerimientos establecidos para el correcto funcionamiento del sistema. Finalmente, la evaluación integral del sistema permitió determinar una mejor incertidumbre en la calibración de temperatura y humedad, mejorando la precisión de los resultados obtenidos; estos avances representan un significativo aporte a la metrología, optimizando los procesos de calibración y asegurando mediciones confiables en distintos entornos industriales.

Con respecto al análisis de la caracterización de la cámara climática, se llevó a cabo utilizando registradores de temperatura y humedad inalámbricos, estos dispositivos permitieron realizar mediciones precisas en diferentes puntos de la cámara, registrando datos en intervalos regulares; de hecho, las mediciones recolectadas se ingresaron en una hoja de cálculo para su análisis detallado, lo que permitió evaluar el rendimiento y la uniformidad de las condiciones climáticas dentro de la cámara (ver Figura 39 y 40).

Tiempo (hh:mm)	Termómetro o Cámara Ambiental (°C)	Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C)										Tprom (°C)	Tmax - Tmin (°C)
		Nivel Superior					Nivel Inferior						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10:28	25,2	24,85	25,08	24,93	24,50	24,36	24,57	25,01	24,71	24,57	24,42	24,70	0,72
10:28	25,2	24,88	25,10	24,91	24,49	24,37	24,61	25,02	24,72	24,57	24,43	24,71	0,73
10:28	25,2	24,89	25,09	24,92	24,49	24,37	24,60	25,03	24,72	24,61	24,44	24,72	0,72
10:28	25,2	24,89	25,06	24,92	24,49	24,37	24,60	25,02	24,71	24,61	24,42	24,71	0,69
10:28	25,2	24,90	25,10	24,90	24,48	24,36	24,57	25,05	24,70	24,62	24,43	24,71	0,74
10:29	25,2	24,91	25,10	24,90	24,49	24,35	24,61	25,00	24,70	24,61	24,44	24,71	0,75
10:29	25,1	24,90	25,08	24,92	24,49	24,38	24,61	25,02	24,73	24,59	24,43	24,72	0,70
10:29	25,1	24,90	25,09	24,92	24,49	24,38	24,59	25,01	24,70	24,59	24,42	24,71	0,71
10:29	25,1	24,89	25,11	24,92	24,50	24,38	24,59	25,01	24,72	24,58	24,43	24,71	0,73
10:29	25,2	24,91	25,09	24,91	24,51	24,38	24,60	25,00	24,72	24,59	24,43	24,71	0,71
10:30	25,2	24,89	25,09	24,90	24,51	24,38	24,63	25,01	24,71	24,61	24,43	24,72	0,71
10:30	25,2	24,91	25,07	24,91	24,51	24,38	24,62	25,02	24,72	24,63	24,45	24,72	0,69
10:30	25,1	24,93	25,11	24,92	24,53	24,40	24,63	25,01	24,73	24,65	24,46	24,74	0,71
10:30	25,2	24,94	25,14	24,93	24,53	24,40	24,66	25,05	24,73	24,66	24,44	24,75	0,74
10:30	25,1	24,93	25,15	24,93	24,53	24,40	24,64	25,06	24,71	24,62	24,43	24,74	0,75
10:30	25,1	24,93	25,17	24,89	24,52	24,38	24,67	25,02	24,70	24,62	24,42	24,73	0,79
10:31	25,2	24,94	25,16	24,93	24,52	24,37	24,67	25,07	24,71	24,61	24,42	24,74	0,79
10:31	25,2	24,96	25,18	24,92	24,52	24,39	24,69	25,09	24,68	24,60	24,42	24,75	0,79
10:31	25,2	24,96	25,21	24,93	24,53	24,41	24,74	25,11	24,70	24,63	24,42	24,76	0,80
10:31	25,1	24,93	25,24	24,95	24,56	24,43	24,75	25,13	24,71	24,60	24,42	24,77	0,82
10:31	25,1	24,94	25,25	24,96	24,56	24,45	24,77	25,15	24,71	24,59	24,42	24,78	0,83
10:32	25,1	24,94	25,24	24,96	24,54	24,43	24,76	25,16	24,69	24,60	24,41	24,77	0,83
10:32	25,1	24,93	25,24	24,96	24,55	24,43	24,73	25,14	24,72	24,60	24,40	24,77	0,84
10:32	25,2	24,91	25,23	24,95	24,55	24,43	24,73	25,14	24,69	24,59	24,38	24,76	0,85
10:32	25,2	24,90	25,23	24,96	24,56	24,43	24,77	25,15	24,70	24,58	24,38	24,77	0,85
10:32	25,2	24,90	25,21	24,95	24,57	24,44	24,75	25,14	24,71	24,59	24,41	24,77	0,80
10:32	25,2	24,90	25,23	24,97	24,58	24,46	24,80	25,17	24,72	24,59	24,42	24,78	0,81
10:33	25,2	24,89	25,20	24,97	24,56	24,45	24,81	25,18	24,70	24,62	24,41	24,78	0,79
10:33	25,1	24,91	25,20	24,96	24,58	24,45	24,83	25,17	24,72	24,58	24,42	24,78	0,78
10:33	25,1	24,91	25,23	24,98	24,60	24,46	24,81	25,18	24,69	24,56	24,38	24,78	0,85
10:33	25,1	24,90	25,19	24,98	24,59	24,46	24,79	25,16	24,72	24,56	24,40	24,78	0,79

Tiempo (hh:mm)	Termómetro o Cámara Ambiental (°C)	Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C)										Tprom (°C)	Tmax - Tmin (°C)
		Nivel Superior					Nivel Inferior						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
10:33	25	24,88	25,19	24,93	24,57	24,44	24,76	25,12	24,71	24,54	24,36	24,75	0,83
10:34	25	24,88	25,20	24,96	24,57	24,44	24,76	25,13	24,69	24,53	24,36	24,75	0,84
10:34	25	24,86	25,20	24,95	24,56	24,43	24,73	25,12	24,70	24,52	24,37	24,74	0,83
10:34	25	24,86	25,23	24,96	24,56	24,45	24,73	25,16	24,71	24,51	24,36	24,75	0,87
10:34	25	24,86	25,20	24,97	24,56	24,44	24,74	25,15	24,70	24,56	24,37	24,76	0,83
10:34	25	24,86	25,19	24,94	24,57	24,44	24,76	25,14	24,69	24,51	24,37	24,75	0,82
10:34	25	24,84	25,20	24,95	24,57	24,44	24,75	25,13	24,71	24,51	24,40	24,75	0,80
10:35	25	24,83	25,18	24,96	24,58	24,45	24,75	25,12	24,70	24,52	24,40	24,75	0,78
10:35	25	24,85	25,17	24,97	24,58	24,45	24,72	25,11	24,70	24,54	24,42	24,75	0,75
10:35	25	24,86	25,19	24,97	24,59	24,45	24,69	25,08	24,71	24,52	24,40	24,75	0,79
10:35	25	24,85	25,16	24,98	24,58	24,45	24,73	25,10	24,71	24,52	24,38	24,75	0,78
10:35	25	24,83	25,15	24,95	24,57	24,45	24,67	25,05	24,69	24,51	24,40	24,73	0,75
10:36	25	24,81	25,14	24,97	24,56	24,44	24,64	25,03	24,70	24,53	24,38	24,72	0,76
10:36	25	24,82	25,13	24,93	24,56	24,42	24,64	25,03	24,67	24,51	24,37	24,71	0,76
10:36	25	24,84	25,11	24,92	24,56	24,43	24,62	25,02	24,68	24,51	24,40	24,71	0,71
10:36	25	24,85	25,13	24,93	24,55	24,43	24,63	25,02	24,69	24,51	24,40	24,71	0,73
10:36	25	24,83	25,13	24,92	24,56	24,43	24,63	25,02	24,67	24,51	24,37	24,71	0,76
10:36	25	24,84	25,12	24,94	24,58	24,43	24,63	25,03	24,68	24,56	24,42	24,72	0,70
10:37	25	24,83	25,14	24,93	24,57	24,43	24,63	25,05	24,71	24,57	24,41	24,73	0,73
10:37	25	24,86	25,12	24,94	24,55	24,41	24,62	25,03	24,67	24,52	24,40	24,71	0,72
10:37	25	24,84	25,13	24,98	24,55	24,42	24,61	25,02	24,67	24,57	24,41	24,72	0,72
10:37	25	24,84	25,13	24,95	24,55	24,43	24,60	25,00	24,69	24,54	24,41	24,71	0,72
10:37	25	24,88	25,13	24,95	24,56	24,43	24,64	25,00	24,68	24,54	24,40	24,72	0,73
10:38	25	24,86	25,13	24,95	24,55	24,43	24,62	25,01	24,68	24,52	24,40	24,72	0,73
10:38	25	24,86	25,13	24,92	24,55	24,42	24,60	25,01	24,69	24,54	24,40	24,71	0,73
10:38	25	24,87	25,13	24,95	24,54	24,41	24,59	25,01	24,71	24,55	24,40	24,72	0,73
10:38	25	24,89	25,13	24,94	24,54	24,42	24,61	25,00	24,70	24,58	24,43	24,72	0,71
10:38	25	24,91	25,11	24,94	24,55	24,41	24,62	25,01	24,69	24,56	24,45	24,73	0,70
10:39	25	24,91	25,13	24,94	24,56	24,42	24,63	25,01	24,69	24,56	24,44	24,73	0,71
10:39	25	24,90	25,13	24,94	24,55	24,41	24,62	25,01	24,68	24,57	24,41	24,72	0,72
T. PROM	25,2	24,88	25,15	24,94	24,55	24,42	24,67	25,07	24,70	24,57	24,41	24,74	0,76
T. MAX	25,2	24,96	25,25	24,98	24,60	24,46	24,83	25,18	24,73	24,66	24,46	24,78	0,87
T. MIN	25,1	24,81	25,06	24,89	24,48	24,35	24,57	25,00	24,67	24,51	24,36	24,70	0,69
DTT	0,1	0,15	0,19	0,09	0,12	0,11	0,26	0,18	0,06	0,15	0,10	0,08	0,18

Figura 39. Análisis de Registro de Temperatura y Humedad
Fuente: Elaboración propia

MEDICIÓN	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	25,25	0,51
Mínima Temperatura Medida	24,35	0,62
Desviación Temperatura en el Tiempo	0,26	0,08
Desviación Temperatura en el Espacio	0,75	0,61
Estabilidad Medida (±)	0,13	0,04
Uniformidad Medida	0,15	0,61

Figura 40. Medición de Temperatura
Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos obtenidos, el investigador interpreta que para cada posición de medición, la "desviación de temperatura en el tiempo" (DTT) está dada por la diferencia entre la temperatura máxima y mínima registradas en dicha posición; la "desviación de temperatura en el espacio" entre dos posiciones de medición se determina por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones; la uniformidad se define como la máxima diferencia de temperatura medida entre las distintas posiciones espaciales en un mismo instante de tiempo y la estabilidad se considera igual a $\pm \frac{1}{2}$ de la máxima DTT registrada.

Con relación a la incertidumbre expandida, esta se obtiene multiplicando la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2$, que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura del 95%. Las características de la cámara climática son una estabilidad de 0,1 °C y 0,5% de humedad relativa (rh), y una uniformidad de 0,5 °C y 1% rh. Según los resultados de la caracterización, se alcanzaron una estabilidad de 0,05 °C y 0,3% rh, y una uniformidad de 0,3 °C y 0,5% rh, lo cual indica que el diseño y las consideraciones aplicadas en el presente trabajo fueron exitosas para alcanzar los objetivos propuestos.

Por último, el tiempo de calibración se pudo reducir ya que los valores de medición en el procedimiento de calibración se toman en el instante en que la cámara alcanza la estabilidad; además, el sistema de control de potencia y las fuentes de energía cumplieron con los objetivos previstos, así como, los sistemas de calefacción, humidificación y secado. También, se mejoró el aporte de incertidumbre mediante la resolución del medio isoterma, su estabilidad y uniformidad, logrando un menor tiempo de calibración en comparación con el procedimiento anterior, gracias al uso de cámaras de control individual.

CONCLUSIONES

En este apartado se presentan las conclusiones derivadas del ejercicio profesional realizado en la empresa Metroil, enfocado en el diseño, evaluación e implementación de una cámara climática; estas se basan en un análisis detallado de los resultados obtenidos, ofreciendo una visión integral de los logros alcanzados y de las áreas que requieren mejora.

Se obtuvo una estabilidad de 0,05 °C y 0,3% de humedad relativa (rh), superando ampliamente las expectativas de diseño iniciales, que eran de 0,1 °C y 0,5% rh. Este resultado destaca la efectividad del diseño y las consideraciones aplicadas en la cámara climática, asegurando un ambiente controlado con una precisión y uniformidad superior a la esperada.

Los sistemas de calefacción y humidificación demostraron ser eficaces al cumplir con los objetivos establecidos, al mantener las condiciones climáticas deseadas en la cámara climática, asegurando la estabilidad y uniformidad de temperatura y humedad según los parámetros de diseño, reflejando la robustez y precisión de los sistemas implementados, garantizando un entorno controlado y adecuado para los fines previstos.

El sistema de control de potencia y las fuentes de energía cumplió con los objetivos establecidos, demostrando su efectividad al proporcionar un suministro de energía estable y confiable, lo que aseguró un funcionamiento óptimo de la cámara climática; este logro destaca la solidez y eficiencia de los sistemas implementados, garantizando un ambiente controlado y adecuado.

Se logró mejorar significativamente el aporte de incertidumbre gracias a la resolución del medio isoterma, así como, a la estabilidad y uniformidad alcanzadas. Estos avances permiten obtener mediciones más precisas y confiables, cuyo resultado es una mayor confianza en los datos recolectados y un mejor cumplimiento de los objetivos del proyecto.

También, se determinó un tiempo de calibración significativamente menor en comparación con los métodos previos; esta optimización corresponde a la implementación de procedimientos más eficientes, que permitieron tomar las mediciones necesarias en el momento en que la cámara alcanza la estabilidad. Este avance no solo mejora la eficiencia del proceso de calibración, sino que también reduce los costos y el tiempo requerido para completar las calibraciones.

Los resultados obtenidos demuestran que se logró cumplir con las especificaciones de estabilidad y uniformidad de la cámara climática, superando incluso las expectativas iniciales. Este éxito refleja la solidez del enfoque y las estrategias implementadas, asegurando un entorno controlado y adecuado: por ello, las decisiones relevantes incluyen mantener y optimizar los sistemas actuales y en caso de no haber logrado la uniformidad absoluta, se justificaría por limitaciones en el diseño o variaciones ambientales, proponiéndose revisar el diseño y añadir sistemas de control adicionales o redistribuir el flujo de aire.

RECOMENDACIONES

A partir de las conclusiones anteriores, se plantean recomendaciones específicas para optimizar los procesos y asegurar el éxito continuo de la empresa Metroil en el desarrollo de tecnologías innovadoras y sostenibles.

- ✓ Mantener y optimizar los sistemas de control actuales para asegurar la estabilidad continua de 0,05 °C y 0,3% rh., realizando revisiones periódicas para identificar posibles mejoras.
- ✓ Continuar con el mantenimiento preventivo regular de los sistemas de calefacción y humidificación para garantizar su eficiencia y efectividad dentro de las condiciones climáticas deseadas.
- ✓ Utilizar los sistemas de control de potencia actuales, y explorar tecnologías emergentes que puedan ofrecer mayor eficiencia energética y fiabilidad.
- ✓ Aplicar las prácticas actuales que han demostrado mejorar la incertidumbre y buscar oportunidades para reducirla aún más mediante innovaciones tecnológicas y mejoras en los procedimientos de medición.
- ✓ Implementar el nuevo procedimiento de calibración optimizado en todas las futuras calibraciones para reducir costos y tiempo. Monitorear y ajustar según sea necesario para mantener la eficiencia.
- ✓ Mantener y documentar las estrategias implementadas que llevaron al éxito del proyecto. Compartir estas mejores prácticas dentro de la empresa para futuras iniciativas similares.
- ✓ Mantener y optimizar los sistemas actuales de control y calefacción/humidificación, realizando mantenimiento preventivo regular para asegurar el rendimiento continuo y la confiabilidad de los sistemas.
- ✓ Realizar una revisión exhaustiva del diseño de la cámara climática y considerar la implementación de sistemas de control adicionales o la redistribución del flujo de aire para mejorar la uniformidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1] N. Aranda, R. Napán y J. García, «Optimización de los métodos y procedimientos de calibración de termohigrómetros en el Centro Regional de Instrumentos de Buenos Aires,» Nota Técnica SMN 2021-102, Buenos Aires, 2021.
- 2] Suministros en Metrología, «Calibración de Higrómetros de Humedad Relativa,» 2 septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://suministrosenmetrologia.com/higrometros-de-humedad-relativa/>. [Último acceso: 15 febrero 2024].
- 3] Thermo Scientific, «Cámaras versátiles para cualquier aplicación,» 2015. [En línea]. Available: https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrOp8PRK05mJJcH6j9jfgx.;_ylu=Y29sbwNncTEEcG9zAzQEdnRpZAMEc2VjA3Ny/RV=2/RE=1716427858/RO=10/RU=https%3a%2f%2fassets.thermofisher.com%2fTFS-Assets%2fLPD%2fbrochures%2fBR-TSENVCHAMBERS-E%2520081319_ES_LR-0620.pdf/RK=2/RS=_yu5.
- 4] C. Rubio, G. Martheyn y E. Vera, «Termoelectricidad: Uso de las celdas Peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones,» *Revista Inventum*, n° 22, pp. 10-17, 2017.
- 5] QuimiNet , «Protocolo de calificación de cámaras climáticas,» 18 enero 2007. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/protocolo-de-calificacion-de-camaras-climaticas-17756.htm>. [Último acceso: 25 febrero 2024].
- 6] M. Alfaro, R. Guerra y A. Olivares, «Evaluación experimental de la solución analítica exacta de la ecuación de Colebrook-White,» *Ingeniería Investigación y tecnología*, vol. 20, n° 2, pp. 1-11, 2019.