


Información General del Semillero de Investigación		
Facultad: Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería		
Programa académico: Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico	Grupo(s) de Investigación: DIMAT y GINPEG	<p style="text-align: center;">LOGO</p> 
Nombre del semillero – Siglas Semillero de Investigación en Diseño y Selección de Materiales para Ingeniería (DIMAIN)		
Líneas de Investigación: Materiales estructurales y de aplicaciones tecnológicas y Diseño, modelamiento y simulación de máquinas y estructuras		
Áreas del saber *		
1. Agronomía veterinaria y afines		5. Ciencias sociales y humanas
2. Bellas artes		6. Economía, administración, contaduría y afines
3. Ciencias de la educación		7. Matemáticas y ciencias naturales
4. Ciencias de la salud	X	8. Ingenierías, arquitectura, urbanismo y afines

Al diligenciar este documento autorizo a UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER, ubicada en Calle de los Estudiantes 9-82 Ciudadela Real de Minas y con teléfono de contacto 6076917700, para que recolecte, almacene, use, circule y/o suprima mis datos personales. Lo anterior para dar cumplimiento a las finalidades incorporadas en la Política de Tratamiento de Información disponible en www.uts.edu.co, la cual declaro conocer y saber que en esta se especifican cuáles datos son sensibles. Así mismo, conozco que como titular me asisten los derechos a conocer, actualizar, rectificar y suprimir mis datos y revocar la autorización. Igualmente declaro que poseo autorización, de los otros titulares de datos que suministro, para que UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER les dé tratamiento conforme a las finalidades consignadas en la Política.

Información del Docente Líder

Nombre	Documento	Correo electrónico
Pamela Mara Hulse	CE. 1200466	phulse@correo.uts.edu.co
Luis Alonso Betancur Arboleda	CC. 3482001	labetancur@correo.uts.edu.co

Información de los Autores

Nombre	Documento	Correo electrónico
Quintín Daniel Gelvis Niño	1232890724	qgelvis@uts.edu.co
Alexis Ronaldo Monsalve Delgado	1005305762	aronaldomonsalve@uts.edu.co
Maritza Cañas Avila	1099543652	mcanasa@uts.edu.co

Proyecto

1. Título del proyecto: Implementación de un banco de alto vacío con resistencias para la fabricación de tubos de calor, en las Unidades Tecnológicas de Santander 2025	MODALIDAD DEL PROYECTO **			
	PA	PI	TI	Otra. ¿Cuál?
		X		
	Fecha de terminación del proyecto:			07/10/2025

2. Resumen del trabajo:

El presente proyecto tiene como objetivo principal el diseño, construcción y validación de un banco experimental para la fabricación de tubos de calor tipo termosifón, equipado con un sistema de vacío, termorresistencias y mecanismo de carga de fluido de trabajo. Con el propósito de cumplir dicho objetivo, el desarrollo del proyecto se estructura en cuatro fases: 1) selección de materiales y técnicas de fabricación, 2) modelado y diseño de componentes en software CAD, 3) construcción y ensamble del banco de pruebas, y 4) ejecución de ensayos experimentales para su validación. Durante la etapa de pruebas, el sistema alcanza valores de vacío de aproximadamente $-0,7$ bar después de 60 minutos sin aplicar calor y de $-0,8$ bar al activar la resistencia de calentamiento, lo que evidencia un funcionamiento estable y hermético. Adicionalmente, se realizan pruebas cualitativas comparando el tubo fabricado con un tubo de cobre convencional, observándose diferencias en la respuesta térmica durante el calentamiento en agua. Finalmente, se concluye que el proyecto cumple con los objetivos propuestos, pues logra un banco de vacío funcional que permite la fabricación y validación básica de tubos de calor, además de constituir un recurso académico útil para la enseñanza y el desarrollo de prácticas en el área de transferencia de calor.

3. Objetivo general y objetivos específicos:

Objetivo General:

Implementar un banco de fabricación de tubos de calor que permita la generación y medición de vacío, la carga de fluido de trabajo y el control del sellado para la fabricación de intercambiadores bifásicos en el laboratorio de térmicas de las unidades tecnológicas de Santander.

Objetivos Específicos:

Identificar las técnicas de fabricación adecuadas como soldadura, extrusión y vacío, garantizando una correcta construcción de los tubos de calor. Además, su selección en los materiales apropiados como cobre o aluminio para la carcasa y fluidos como agua o acetona, asegurando la eficiencia del sistema.

Utilizar software CAD para el desarrollo de modelos detallados del sistema de fabricación de tubos de calor, incluyendo todas las especificaciones técnicas requeridas.

Ensamblar los componentes conforme a los diseños establecidos, cumpliendo con los procedimientos de calidad y seguridad definidos.

Realizar pruebas de desempeño para la evaluación de su eficiencia y funcionamiento bajo condiciones operativas específicas.

4. Análisis de resultados:

El análisis de los resultados obtenidos durante la fase experimental del proyecto se centró en la validación del banco de alto vacío como herramienta funcional para la fabricación de tubos de calor. La evaluación se dividió en varias etapas clave: la caracterización del rendimiento del banco, las pruebas de evacuación y sellado, las mediciones de temperatura y, finalmente, una prueba comparativa cualitativa para demostrar la eficacia del tubo de calor fabricado.

4.1. Rendimiento y Estabilidad del Banco de Vacío

El objetivo principal era construir un sistema capaz de generar un vacío suficiente para evacuar el aire y los gases no condensables de un tubo de cobre, un paso crítico para permitir el cambio de fase del fluido de trabajo (en este caso, agua destilada) a bajas temperaturas.

Las pruebas iniciales se enfocaron en la estanqueidad y la capacidad de evacuación del sistema. Se utilizó una bomba de vacío de dos etapas conectada a una cámara de vacío donde se alojaba el tubo de calor. El rendimiento del sistema se monitorizó mediante un vacuómetro, que registró la caída de presión a lo largo del tiempo.

Durante las pruebas sin aplicar calentamiento, el sistema demostró una notable capacidad para reducir la presión interna. Tras un período de aproximadamente 60 minutos de operación continua, el vacuómetro indicó una presión estable de -0.7 bar (aproximadamente 300 milibares absolutos). Este valor es significativo porque se acerca a las condiciones de vacío necesarias para que el agua hierva a temperatura ambiente, confirmando que la bomba y las conexiones eran adecuadas para el propósito del proyecto. La estabilidad de la lectura de presión una vez alcanzado este punto indicó que las fugas en el sistema eran mínimas o despreciables, validando la calidad del ensamblaje y las soldaduras realizadas.

4.2. Influencia del Calentamiento en el Proceso de Evacuación

Para mejorar la eficiencia del proceso de evacuación, se integró una resistencia eléctrica de calentamiento en el banco. La hipótesis era que al calentar el tubo durante la evacuación, se aceleraría la desgasificación de las paredes internas del cobre y se facilitarían la evaporación del agua residual, permitiendo que la bomba extrajera estos vapores de manera más efectiva.

Los resultados confirmaron esta hipótesis de manera contundente. Al activar la resistencia eléctrica y llevar el tubo a una temperatura controlada, el nivel de vacío alcanzado mejoró significativamente. El sistema logró una presión final de -0.8 bar (aproximadamente 200 milibares absolutos). Esta mejora de 0.1 bar demuestra que el calentamiento es un factor crucial para optimizar el proceso de fabricación de tubos de calor. El calor añadido no solo ayuda a eliminar la humedad adsorbida en la superficie del material, sino que también reduce la viscosidad de los gases residuales, facilitando su extracción y permitiendo alcanzar un vacío de mayor calidad en un tiempo razonable.

4.3. Mediciones de Temperatura y Comportamiento Térmico

Una parte fundamental del análisis consistió en observar el comportamiento térmico del tubo de calor una vez sellado. Se realizaron mediciones de temperatura en la superficie externa del tubo mientras se le aplicaba calor en un extremo (la zona del evaporador).

Aunque las pruebas fueron principalmente cualitativas, se observó una rápida transferencia de calor desde el extremo caliente hacia el extremo frío (la zona del condensador). Este fenómeno es el principio fundamental de funcionamiento de un tubo de calor: el fluido de trabajo se evapora en la zona caliente, el vapor se desplaza rápidamente hacia la zona fría, se condensa liberando su calor latente y retorna en fase líquida por capilaridad a través de la mecha interna.

Las mediciones, aunque no se cuantificaron con instrumentación de alta precisión, permitieron verificar que la superficie del condensador alcanzaba una temperatura elevada en un corto período, lo cual es indicativo de un funcionamiento correcto. Esto confirmó que el proceso de vacío y sellado había sido exitoso, ya que la presencia de gases no condensables habría inhibido severamente este proceso de transferencia de calor por cambio de fase.

4.4. Prueba Comparativa Cualitativa

Para contextualizar el rendimiento del tubo fabricado, se realizó una prueba comparativa simple pero efectiva. Se tomó un tubo de cobre convencional, de las mismas dimensiones, pero sin haber sido sometido al proceso de vacío y carga de fluido, y se sometió a las mismas condiciones de calentamiento que el tubo de calor fabricado.

El resultado fue claro y visualmente evidente. El tubo de calor disipó el calor a lo largo de su longitud de manera mucho más rápida y uniforme que el tubo de control. Mientras que en el tubo convencional el calor se propagaba lentamente por conducción a través del cobre, en el tubo de calor se observaba un aumento casi simultáneo de la temperatura en toda la sección del condensador.

Esta comparación cualitativa, sirvió como una prueba de concepto irrefutable. Demostró de manera práctica y didáctica la superioridad de la transferencia de calor por cambio de fase (característica del tubo de calor) frente a la conducción pura. Este resultado no solo validó el prototipo fabricado, sino que también subrayó el potencial del banco de vacío como una herramienta educativa y de investigación para futuros proyectos en el campo de la transferencia de calor.

5. Conclusiones:

Se determinó que la soldadura, el vacío y el uso de cobre son las alternativas más adecuadas para la construcción de tubos de calor fiables.

El uso de software CAD fue fundamental para la precisión del diseño, permitiendo anticipar ajustes y minimizar errores en la construcción.

El ensamblaje y las pruebas de hermeticidad confirmaron la viabilidad del diseño y la operación segura y fiable del sistema.

Las pruebas de desempeño demostraron que el banco de vacío alcanza los niveles adecuados para el cargue y sellado de los tubos. Una prueba comparativa cualitativa con un tubo de cobre convencional evidenció el funcionamiento básico del sistema en condiciones de calentamiento.

El banco de vacío cumple con su propósito de validación experimental y se constituye como una herramienta académica para futuros estudios.

6. Recomendaciones:

Para futuros proyectos, se recomienda continuar investigando diferentes materiales y técnicas de fabricación para encontrar opciones más accesibles y funcionales en el entorno académico.

Se aconseja complementar el diseño en CAD con más prácticas de modelado para mejorar la precisión y que los estudiantes se familiaricen más con el software.

En futuros montajes, se sugiere mantener un registro fotográfico o escrito de cada paso como guía para nuevos estudiantes y para la documentación de artículos académicos.

Se recomienda realizar pruebas de desempeño más rigurosas, utilizando sensores especializados y sistemas de adquisición de datos para obtener resultados cuantitativos más precisos.

7. Bibliografía:

Eastern Steel Manufacturing Co. (2021). Factores que afectan el efecto de transferencia de calor de los tubos de intercambio de calor. Obtenido de <https://www.eastern-steels.com/es/newsdetail/factors-affecting-the-heat-transfer-effect.html>

Acosta, A. (2014). Diseño y construcción de un prototipo de banco de pruebas y tubo de calor con asistencia gravitacional en medio aire aire. Bogotá: Universidad de los Andes.

Alean, J., Janna, F., & Gómez, C. (2020). Recuperación de energía en procesos industriales. Obtenido de https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-9-Esquema-de-un-tubo-de-calor-Fuente-Autores-En-la-Figura-4-10-se-presenta_fig28_313243164

Alonso, A. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de banco de pruebas y tubo de calor con asistencia gravitacional en medio aire-aire. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/a97c44ae-97c4-45e2-ae98-f99b6ed4f7bb/content>

Ames. (2025). Proceso de fabricación básico. Obtenido de <https://ames-sintering.com/es/proceso-de-sinterizado>

Artizono. (2025). Técnicas avanzadas de soldadura de cobre y aleaciones de cobre. Obtenido de <https://artizono.com/es/tecnicas-avanzadas-de-soldadura-de-cobre-y-aleaciones-de-cobre/>

Avances en Ciencia e Ingeniería Térmica. (2021). Número de Jakob. Obtenido de https://www.sciencedirect.com.translate.google.com/topics/engineering/jakob-number?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Baker, D. (2021). ¿Qué es un vacuómetro Pirani? Obtenido de https://info-teledyne-hi-com.translate.google.com/blog/what-is-a-pirani-vacuum-gauge?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Betancur, L. (2021). Diseño, construcción y validación experimental de un banco de evacuación de gases de bajo costo para la fabricación de dispositivos bifásicos. Bucaramanga: Unidades Tecnológicas de Santander.

Boyd. (2021). Termosifones vs Tubos de Calor. Obtenido de <https://es.boydcorp.com/blog/thermosiphons-vs-heat-pipes.html>

Boyd. (2023). ¿Qué son los tubos de calor? Obtenido de <https://es.boydcorp.com/thermal/two-phase-cooling/heat-pipe-assemblies.html>

Brand Internacional GMBH. (2021). Bombas rotativas de paletas. Obtenido de <https://www.vacuubrand.com/es/bombas-de-vacio/bombas-rotativas-de-paletas>

Busch. (2023). Medidores de vacío. Obtenido de <https://www.buschvacuum.com/global/es/products/measurement-equipment/vacuum-gauges/>

Busch Group. (2020). Bombas de vacío de paletas rotativas y compresores. Obtenido de <https://www.buschvacuum.com/global/es/products/vacuum-pumps/rotary-vane/rotary-vane-technology/>

Cadence Design Systems, Inc. (2020). Fluidos de trabajo en tubos de calor. Obtenido de https://resources-system-analysis-cadence-com.translate.google.com/blog/working-fluids-in-heat-pipes?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Castro, J., & Gómez, L. (2022). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-921X2023000100140

Celsia. (2024). Tubo de calor. Obtenido de https://celsiainc-com.translate.google.com/technology/heat-pipe/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Chans Machining. (2024). Entender el ranurado: tipo, técnicas y herramientas para CNC de precisión. Obtenido de <https://chansmachining.com/es/entender-el-ranurado-tipo-tecnicas-y-herramientas-para-cnc-de-precision/>

Choi. (2024). ¿Por qué se usa aluminio en los disipadores? Obtenido de <https://perfilesdealuminio.net/por-que-se-usa-aluminio-en-los-disipadores/>

Cisterna, L. (2022). Termosifones Bifásicos: Tecnología para el uso eficiente y racional de la energía. Obtenido de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052022000300420

Cloudtec. (2024). Vacuómetro y Manovacuómetro. Obtenido de <https://cloudtec.pe/blog/automatizacion-industrial/sensores/sensor-de-presion/vacuometro-manovacuometro/>

Córdoba, R. (2019). Diseño de un intercambiador de calor de tubos concéntricos. Ibagué: Universidad de Ibagué.

Cruzzolin, B. (2023). Diferencias entre los conductores de cobre y aluminio. Obtenido de <https://cruzzolin.com.ar/blog/diferencias-entre-los-conductores-de-cobre-y-aluminio>

Díaz, S. (2017). Diseño y construcción de un intercambiador de calor de placas paralelas para el laboratorio de transferencia de calor. Duitama: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Diener electronic. (2024). Bomba turbomolecular. Obtenido de <https://www.plasma.com/es/glosario-de-tecnologia-del-plasma/bomba-turbomolecular/>

Ecoseal. (2024). Cómo Funcionan las Bombas de Vacío: Principios, Tipos y Aplicaciones. Obtenido de <https://www.ecosealca.com/como-funcionan-las-bombas-de-vacio-principios-tipos-y-aplicaciones/>

Escobar, L. (2019). Análisis del material de la mecha en los tubos de calor y su influencia sobre la temperatura en la zona de condensado. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/75da4f6f-0d83-49ea-89ab-454109b1708b>

Filson . (2023). Polvo de cobre sinterizado. Obtenido de <https://www.filsonfilter.com/es/polvo-de-cobre-sinterizado/>

Franco, R., & Yépez, H. (2021). Estudio del flujo turbulento bifásico en una tubería horizontal utilizando diferentes modelos numéricos de turbulencia. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/331048854_ESTUDIO_DEL_FLUJO_TURBULENTO_BIFASICO_EN_UNA_TUBERIA_HORIZONTAL_UTILIZANDO_DIFERENTES_MODELOS_NUMERICOS_DE_TURBULENCA

García, J. (2021). Cambio de fase. Obtenido de https://termodinamica.readthedocs.io/en/latest/equilibrio_cambio_fase.html

González, E. (2015). Diseño de Torre de Caída Libre para Sinterización mediante Descarga Eléctrica. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/90509/fichero/Memoria%2BTFG.pdf>

González, R., & Cabrera, N. (2021). Métodos de Investigación: Experimentales y Cualitativos. Obtenido de <https://alternativas.me/metodos-de-investigacion-experimentales-y-cualitativos>

Grupo de Investigación en Procesos Electromecánicos y Generación (GINPEC). (2025). Grupo de Investigación. Obtenido de <https://investigaciones.uts.edu.co/ginpeg/>

Guerra, C. (2013). Modelamiento y simulación de un tubo de calor de alta temperatura. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/19950/15516878.2013.pdf>

Hernandez, M. (2025). Capilaridad: Ley de Jurin. Obtenido de <https://www.uv.es/uvweb/fisica/es/catalogo-demos/fluidos/capilaridad-ley-jurin-1286053998293/DemoExp.html?id=1286110764034>

Huijin Materials. (2023). Malla de alambre. Obtenido de <https://www.huijinmaterials.com/spa/article-5421605080776588.html>

Icontec. (1987). NTC 2263 Metrología Manómetros. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/454974834/NTC-2263-METROLOGIA-MANOMETROS>

Icontec. (2001). NTC - 1420 - Calibración de Manómetros. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/242302862/NTC-1420-CALIBRACION-DE-MANOMETROS-pdf>

Icontec. (2006). NTC 2505. Obtenido de https://www.ugc.edu.co/pages/juridica/documentos/institucionales/NTC_2505_Instalaciones_Suministro_De_Gas.pdf

Icontec. (2017). NTC-ISO-IEC 17025:2017. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-requisitos-generales-para-la-competencia-de-los-laboratorios-de-ensayo-y-calibracion-ntc-iso-iec17025-2017.html>

Icontec. (2020). NTC 4595:2020. Obtenido de https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-355996_recurso_10.pdf

Icontec. (2023). NTC 2252:2023. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-artefactos-electrodomesticos-y-similares-seguridad-parte-2-24-requisitos-particulares-para-refrigeradores-fabricadores-de-helado-y-fabricadores-de-hielo-ntc2252-2023.html>

International Organization for Standardization (ISO). (2022). Distribución de grados de vacío. Obtenido de <https://www.antpedia.com/standard/sp/es/549818.html>

Krull, U., & Thompson, M. (2013). Conductancia equivalente. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com.translate.google.com/topics/engineering/equivalent-conductance>

Leybold. (2021). ¿Cómo funciona una bomba turbomolecular? Obtenido de <https://www.leybold.com/es/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-generation/how-does-a-turbomolecular-pump-work>

Leybold. (2023). El principio de funcionamiento de una bomba turbomolecular. Obtenido de <https://www.leybold.com/es/knowledge/vacuum-fundamentals/vacuum-generation/how-does-a-turbomolecular-pump-work>

Liu, M. (2025). ¿Cuál es el principio de transferencia de calor en tubos de calor? Obtenido de <https://www.benoheater.com/blog/what-is-the-principle-of-heat-transfer-in-heat-tubes-447992.html>

Maldonado, M. d. (2023). Gradiente de presión. Obtenido de <https://dcb.ingenieria.unam.mx/wp-content/themes/temperachild/CoordinacionesAcademicas/FQ/CursoF/Practica4.pdf>

Mantelli, M. B. (2020). Thermosyphons and heat pipes: Theory and applications. In Thermosyphons and Heat Pipes: Theory and Applications. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/978-3-030-62773-7>

Marquez, P., & Cortes, L. (2022). Utilización de gases no condensables como sistema de seguridad pasivo en termosifones bifásicos. Obtenido de <https://oai.e-spacio.uned.es/server/api/core/bitstreams/f6e62e91-5554-4307-b2fb-3ad9ea564af6/content>

Martín, T., & Serrano, A. (2023). Calor latente. Obtenido de <https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/calor.html>

McKenna, A. (2023). Calor latente. Obtenido de <https://www.britannica-com.translate.google.com/science/latent-heat>

Metalдор. (2020). Limpieza, decapado y desengrase. Cómo hacerlo bien. Obtenido de <https://metaldor.es/limpieza-decapado-metales>

Miguélez, L. (2017). Diseño y construcción de un banco de pruebas para criogenia. Valencia (España): Universidad de la Laguna.

Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo. (2019). Buenas prácticas de refrigeración. Obtenido de <https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/resources/giz2011-es-buenas-practicas-de-refrigeracion.pdf>

Moebs, W., Ling, S., & Sanny, J. (2021). Transferencia de calor, calor específico y calorimetría. Obtenido de <https://openstax.org/books/fisica-universitaria-volumen-2/pages/1-4-transferencia-de-calor-calor-especifico-y-calorimetria>

Moncada, J., & Beltrán, A. (2015). Diseño y construcción de un banco de prueba para intercambiador de calor de tubo y aletas enfriado por aire. Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana.

Mundo HVAC&R. (2021). Soldadura: Otro Elemento Fundamental en Sistemas HVAC&R. Obtenido de <https://www.mundohvacr.com/2008/03/otro-elemento-fundamental-en-sistemas-hvacr-soldadura/>

Noyola, M., & Sánchez, H. (2021). Evaluación de la presencia de gases no condensables en el consumo de energía en un refrigerador doméstico. Obtenido de https://somim.org.mx/memorias/memorias2021/articulos/A4_112.pdf

Olmo, M., & Nave, R. (2024). Presión de Vapor Saturado. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/vappre.html>

Parra, J. L., León, R. A., & Betancourt, D. A. (2017). Banco didáctico de un intercambiador de calor (tubos y coraza) para laboratorio. ITM. 1, 1–129.

Pfeiffer. (2019). Bombas turbomoleculares. Obtenido de https://www.pfeiffer--vacuum-com.translate.goog/global/en/knowledge/vacuum-technology/knowledge-book/4-vacuum-generation/4_9_turbomolecular_pumps/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc

Presidencia de la República. (2006). Decreto 3249 de 2006 . Obtenido de <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1521258>

Profix. (2024). Soldadura brazing: ¿Qué es y en qué consiste este tipo de soldadura? Obtenido de <https://portal.profix.co.cu/blog/soldadura-brazing-que-es-y-en-que-consiste-este-tipo-de-soldadura>

Pypesa. (2023). Prueba de hermeticidad: ¿qué es y cómo realizarla? Obtenido de <https://www.pypesa.com/post/prueba-de-hermeticidad-que-es-y-como-realizarla>

Quincy Compressor. (2023). Bombas de vacío de paletas rotativas. Obtenido de <https://www.quincycompressor.com/es/products/vacuum-pumps/rotary-vacuum-pumps/>

Rubio, C., & Martheyn, G. (2017). Modelo de transferencia de calor por ebullición de una caldera horizontal de 10BHP. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6772851.pdf>

Sánchez, L. (2014). Diseño e implementación de un banco de pruebas para el contraste de instrumentos de las variables físicas temperatura y presión. Quito: Universidad Politécnica Salesiana (Ecuador).

Science Direct. (2019). Gama de alto vacío. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.translate.goog/topics/engineering/high-vacuum-range>

ScienceDirect. (2022). Conducción de calor. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.translate.goog/topics/chemical-engineering/heat-conduction>

Semillero de Investigación en Diseño y Selección de Materiales para Ingeniería (DIMAIN). (2025). Semillero de Investigación. Obtenido de <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/376>

Shenzhen Enner Electronic Technology Co.Ltda. (2025). Sistemas de sellado y evacuación. Obtenido de <http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf>

Thermtest. (2020). Conductividad térmica. Obtenido de <https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica>

Thermtest Latin America. (2020). Conductividad térmica. Obtenido de <https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica>

Thermtest Latin America. (2020). Conductividad térmica. Obtenido de <https://thermtest.com/latinamerica/que-es-la-conductividad-termica>

Toapanta, F. (2019). Análisis térmico de un disipador de calor con tubos de calor para procesadores de alto rendimiento. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262062004/html>

Toapanta, F., Andrade, C., & Davalos, E. (2019). Análisis térmico de un disipador de calor con tubos de calor para procesadores de alto rendimiento. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5722/572262062004/html/>

Ummah, M. S. (2019). No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における 健康関連指標に関する共分散構造分析. Sustainability (Switzerland) (Vol. 11, Issue 1).

Universidad de Cartagena. (2015). Transmisión de calor con cambio de fase. Obtenido de [https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/IT-2oIE%20-%20Tema%204%20-2014-15%20\[Modo%20de%20compatibilidad\].pdf](https://www.cartagena99.com/recursos/alumnos/apuntes/IT-2oIE%20-%20Tema%204%20-2014-15%20[Modo%20de%20compatibilidad].pdf)

Universidad Estatal de California y Merlot. (2023). Cambio de fase y calor latente. Obtenido de [https://phys-libretexts-org.translate.goog/Bookshelves/University_Physics/Physics_\(Boundless\)/13%3A_Heat_and_Heat_Transfer/13.3%3A_Phase_Change_and_Latent_Heat?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc](https://phys-libretexts-org.translate.goog/Bookshelves/University_Physics/Physics_(Boundless)/13%3A_Heat_and_Heat_Transfer/13.3%3A_Phase_Change_and_Latent_Heat?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=tc)

Universidad Nacional. (2020). Propiedades hidráulicas de los suelos. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/57121/propiedadeshidraulicasdelossuelos.pdf>

UTS. (2025). Tecnología en Operación y Mantenimiento Electromecánico- SNIES102378. Obtenido de <https://www.uts.edu.co/sitio/tecnologia-en-operacion-y-mantenimiento-electromecanico/>

Versol. (2022). La utilidad de las bombas de vacío en la industria moderna. Obtenido de <https://versol.cl/la-utilidad-de-las-bombas-de-vacio-en-la-industria-moderna>

Weidmüller. (2021). Trabajar con nuestra herramienta, esa es la nueva norma. Obtenido de https://www.weidmuller.es/es/productos/workplace_y_accesorios/herramientas/prensar.jsp

Yáñez, G. (2013). Los gases no condensables. Obtenido de <https://0grados.com/los-gases-no-condensables/>

Yáñez, G. (2022). Gases no condensables en un sistema de refrigeración. Obtenido de <https://www.gildardoyanez.com/gases-no-condensables/>

Zamora, M., & López, N. (2018). Metodología para la construcción y diseño de termosifones bifásicos para aplicación en sistema de intercambio de calor. Obtenido de <https://repositorio.itm.edu.co/server/api/core/bitstreams/6e572b1b-9830-4afd-b0ac-12e10669c366/content>

8. Anexos:

Desarrollo del Objetivo 1:

Se llevó a cabo una revisión técnica de las metodologías de fabricación aplicables a la construcción de tubos de calor. Este proceso implicó la identificación, comparación sistemática y priorización de diversas técnicas, considerando criterios de viabilidad técnica, económica y de infraestructura disponible dentro del laboratorio de la institución. Paralelamente, se realizó un análisis detallado de los materiales candidatos para la carcasa, la mecha capilar y el fluido de trabajo, evaluando sus propiedades termofísicas, compatibilidad y disponibilidad, con el fin de seleccionar los más adecuados que garantizaran tanto la eficiencia del sistema como la factibilidad de su implementación en el contexto del proyecto.

La tabla 1 resume los materiales analizados para fabricación del tubo de calor/termosifón.

Tabla 1. Selección de los materiales

Componente	Alternativa	Selección	Justificación
Carcasa	Cobre vs Aluminio	Cobre (activo), Aluminio (estructura)	Cobre por conductividad; aluminio por costo/estructura
Mecha capilar	Sinterizado vs Malla metálica	No aplica.	Para comprobar la eficiencia del banco se va a fabricar termosifones. Estos dispositivos no incluyen la mecha capilar.
Fluido de trabajo	Agua vs Acetona	Agua destilada	Seguridad, costo, operación estable

Desarrollo del Objetivo 2:

Para el desarrollo del segundo objetivo específico, se procedió a la utilización de software de diseño asistido por computador (CAD) con el fin de materializar conceptualmente el sistema de fabricación. Esta fase consistió en la creación de un modelo tridimensional detallado del banco de vacío y sus componentes asociados, lo que permitió una visualización integral del ensamble, la verificación de interferencias y la optimización espacial antes de su construcción física. Asimismo,

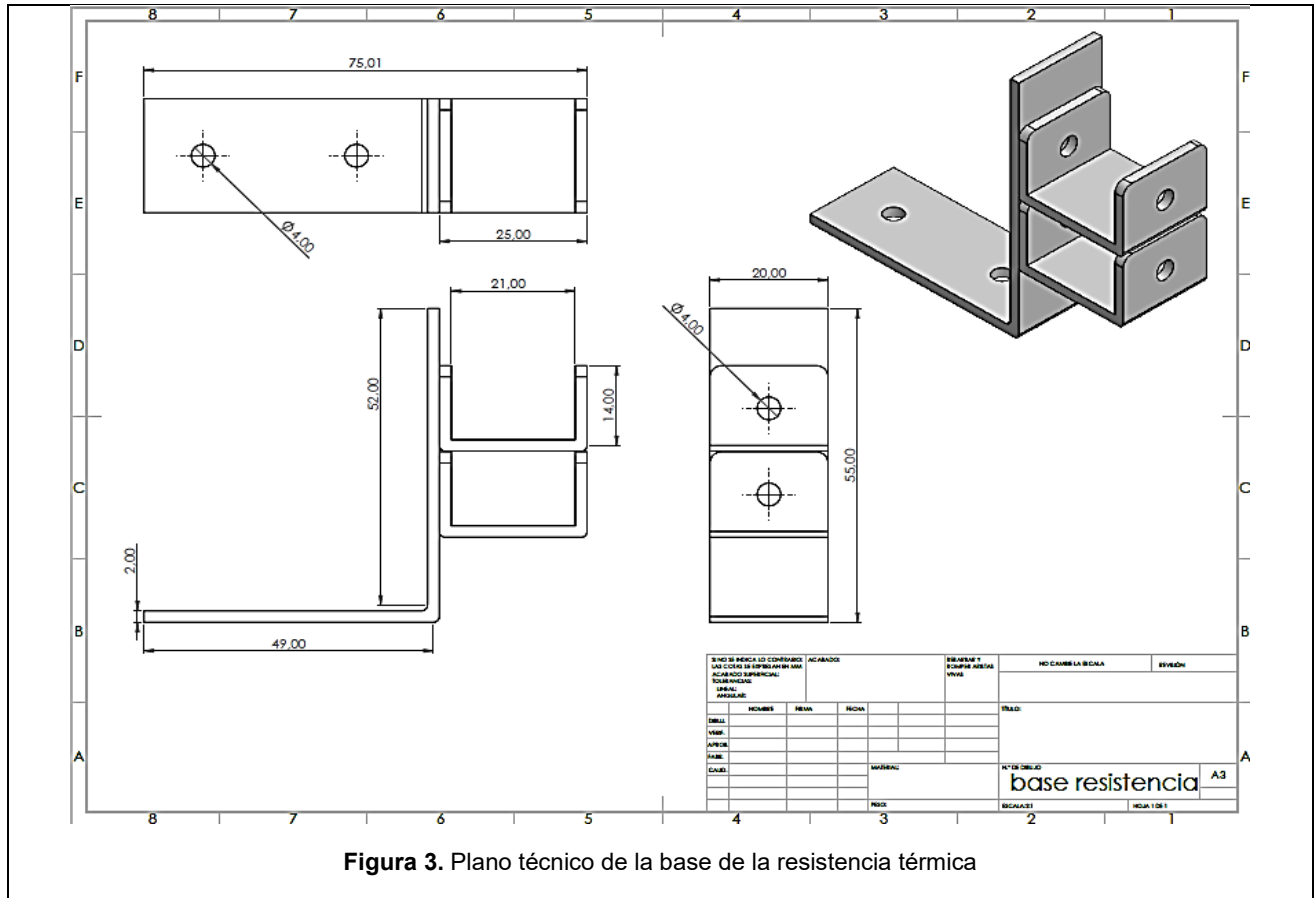


Figura 3. Plano técnico de la base de la resistencia térmica

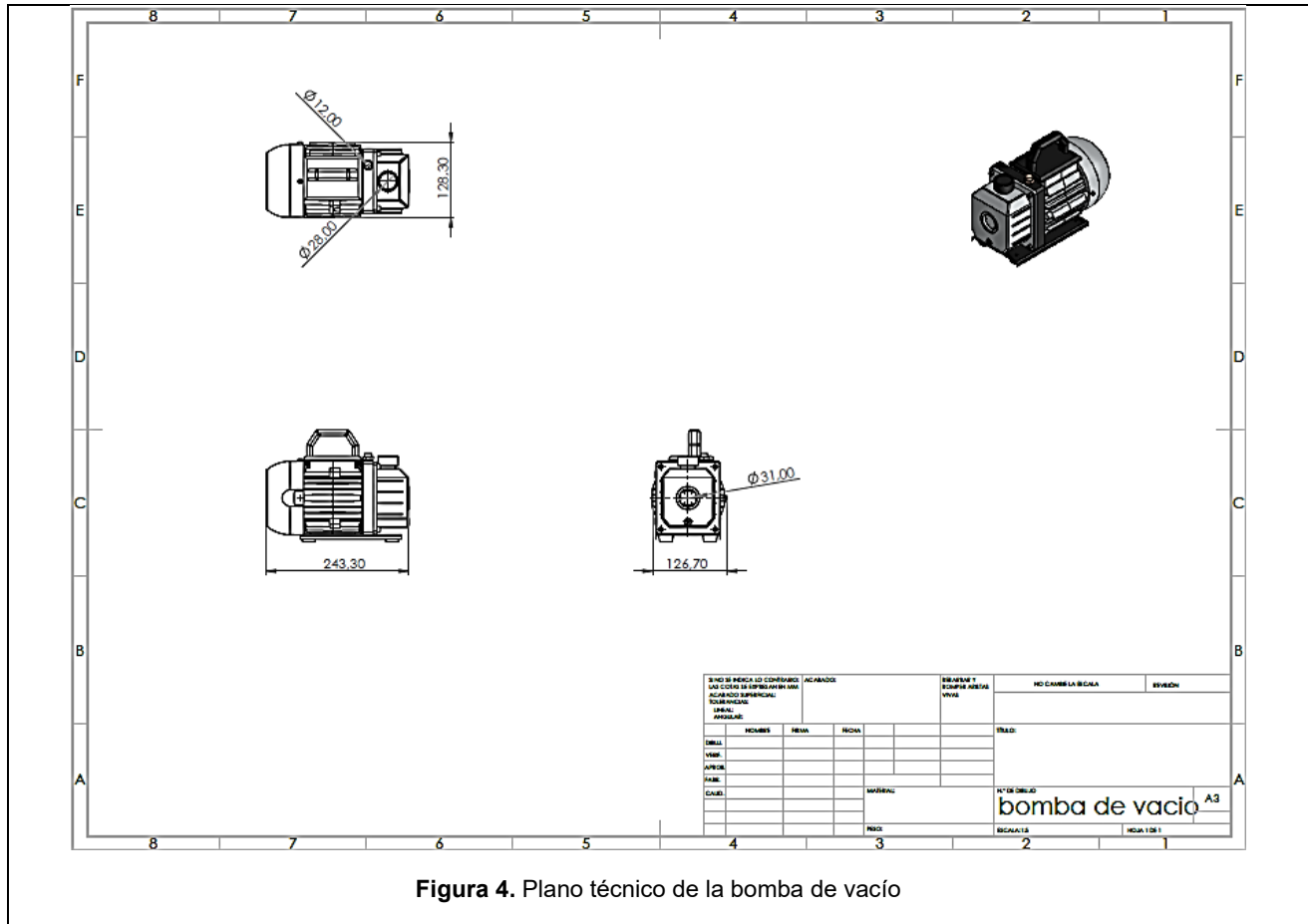
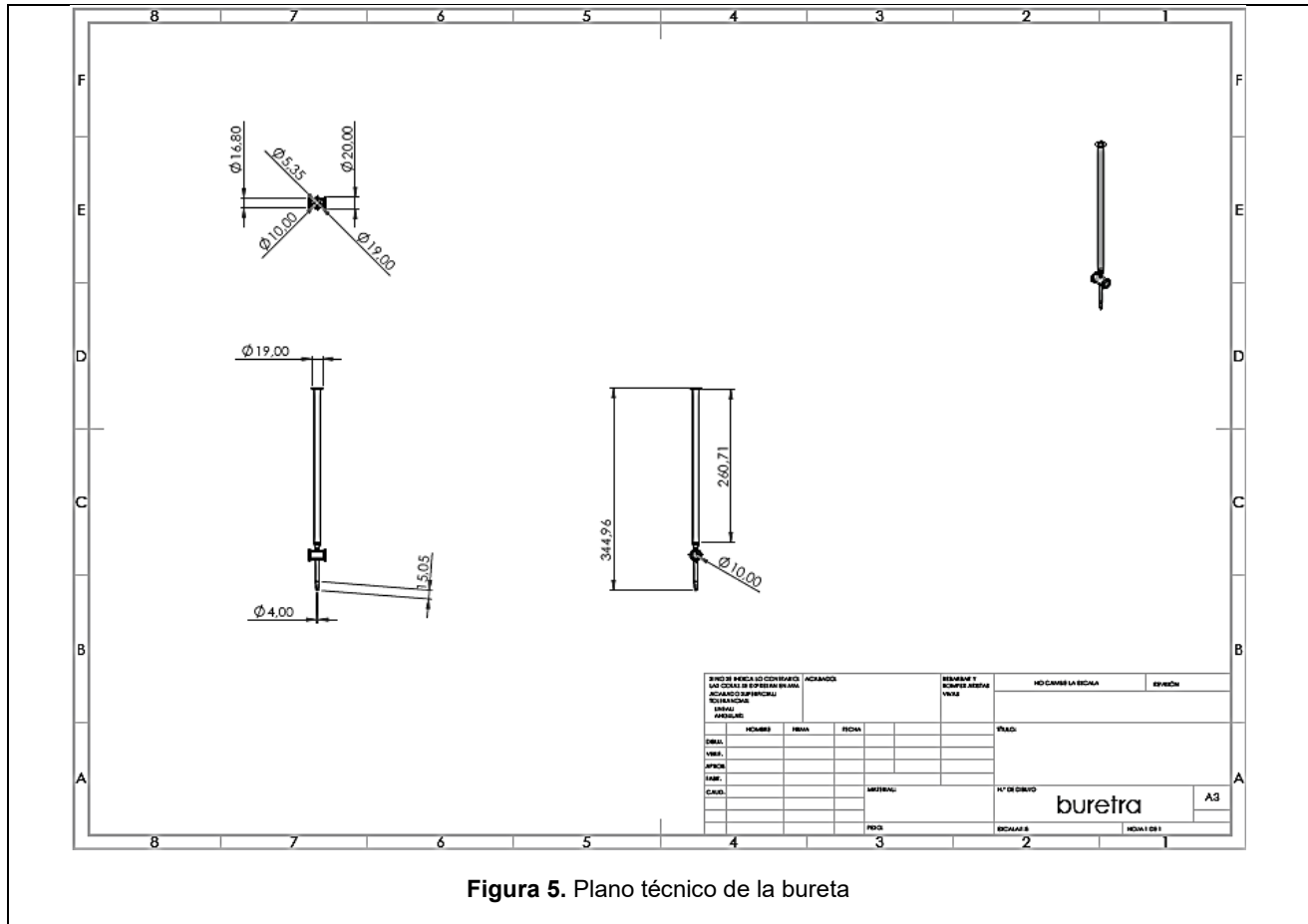


Figura 4. Plano técnico de la bomba de vacío



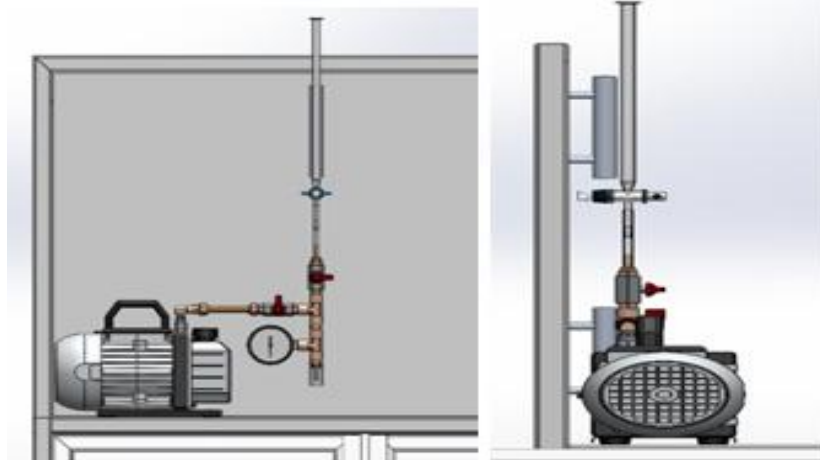


Figura 12. Ensamble de los componentes

Desarrollo del Objetivo 3:

Para el desarrollo de este objetivo, se ejecutó la fase de ensamblaje del banco de alto vacío, la cual se llevó a cabo siguiendo detalladamente los planos y especificaciones técnicas previamente establecidos en el diseño CAD. Este proceso implicó la integración ordenada y precisa de todos los componentes mecánicos, eléctricos y de medición, desde la estructura de soporte y la bomba de vacío hasta la instalación de sensores, válvulas y el sistema de calefacción. Cada etapa del montaje fue supervisada y sometida a una serie de pruebas de calidad y verificación, con el firme propósito de garantizar la hermeticidad del sistema, la correcta funcionalidad de cada subsistema y el estricto cumplimiento de los protocolos de seguridad definidos para la operación del equipo.

En la Figura 13 se puede visualizar la estructura completa ya fabricada, mientras que en la Figura 14 se presenta la instalación de los componentes en el banco de fabricación de tubos de calor.



Figura 13. Estructura fabricada



Figura 14. Instalación de los componentes en el banco

En la Figura 15 se puede observar el soporte para la resistencia térmica y para el tubo de calor/ termosifón.



Figura 15. Soporte para el tubo de calor y resistencia térmica

Desarrollo del Objetivo 4:

Para medir la temperatura en la zona del evaporador, se utilizó una termocupla tipo J colocada en la superficie externa del tubo (Figura 15). Esta ubicación garantizó un contacto directo para una lectura fiable sin crear posibles fugas de vacío. Adicionalmente, se empleó una cámara termográfica para visualizar la distribución del calor (Figura 16). Para asegurar la precisión de esta medición, los tubos se pintaron de negro mate para obtener una alta emisividad. Durante la prueba, se calentó simultáneamente el tubo experimental junto a un tubo de control convencional en agua.

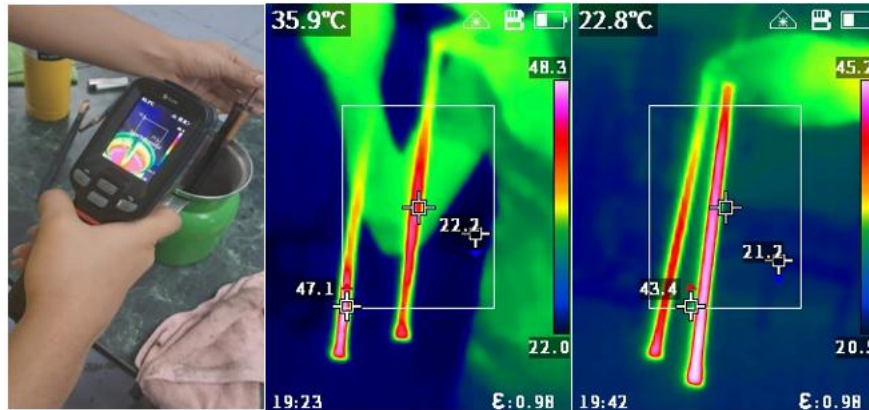


Figura 16. Comparación de la distribución térmica de un tubo de calor (tubo de la derecha) y un tubo de cobre convencional (tubo de la izquierda) utilizando la cámara termográfica

El resultado experimental demostró que el tubo termosifón fabricado se calentó más rápido y dispuso el calor con mayor eficiencia que el tubo de cobre normal.

Pruebas de estanqueidad y pre-evacuación

Prueba visual y preliminar: se realizó una inspección visual de todas las conexiones del sistema, verificando que estuvieran correctamente apretadas, que no existieran materiales cortantes o daños en las mangueras, y que los racores no presentaran deformaciones o defectos que pudieran comprometer la estanqueidad. Posteriormente, se aplicó una prueba de presión positiva moderada o, en su defecto, un sellado temporal en las uniones, para proceder a rociar una solución jabonosa en todas las interfaces visibles y detectar posibles fugas mediante la formación de burbujas.

Primera evacuación y verificación de fugas: con todas las válvulas del sistema cerradas excepto la línea directa hacia la bomba de vacío, se arrancó el equipo y se monitoreó de forma continua la lectura del vacuómetro durante un período de 10 a 15 minutos, observando el descenso de presión y la estabilidad del valor alcanzado. Si la presión no disminuía de manera adecuada o se incrementaba al detener la bomba, se inspeccionaban meticulosamente todas las juntas y conexiones en busca de fugas. Se mantuvo una evacuación inicial de aproximadamente 30 minutos para facilitar la desorción de humedad residual (bake-out pasajero) y asegurar las condiciones óptimas del sistema.

Ejecución de pruebas para validar el armado del sistema

La Tabla 2 resume todas las pruebas realizadas para garantizar la calidad del banco de fabricación.

Tabla 2. Control de calidad del banco de alto vacío

Prueba realizada	Resultado obtenido	Cumple/No cumple	Observaciones
Inspección visual de soldaduras y estructura	Uniones sin porosidad ni fisuras visibles. Dimensiones dentro de tolerancia (± 2 mm).	Cumple	Estructura estable y alineada.
Verificación dimensional	Cotas comparadas con planos CAD, diferencias mínimas.	Cumple	Dentro de tolerancias establecidas.

Ensayo de hermeticidad con solución jabonosa	Sin formación de burbujas en válvulas y uniones.	Cumple	No se detectaron fugas externas.
Prueba de vacío inicial	Presión estable durante 15 min sin ascensos significativos.	Cumple	Hermeticidad confirmada.
Calibración del vacuómetro	Lecturas correctas en atmósfera y en vacío parcial.	Cumple	Funcionalidad validada.
Verificación del termopar y controlador	Incrementos de temperatura registrados coherentemente.	Cumple	Sistema de medición confiable.
Prueba de operación de bomba	Funcionamiento continuo sin ruidos anómalos ni fallos.	Cumple	Operación estable por 30 min.
Estabilidad de presión en vacío	Vacío mantenido en valores esperados de la bomba (≈ 5 Pa).	Cumple	Presión estable en el tiempo.
Prueba de resistencia cartucho (bake-out)	Calentamiento uniforme, sin deformaciones.	Cumple	Apto para operación prolongada.

* Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE)

** PA: Proyecto de Aula; PI: Proyecto Integrador; TI: Trabajo de Investigación