

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONSTRUCCIÓN, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN EQUIPO DIDÁCTICO PARA ESTUDIAR EL FUNCIONAMIENTO REAL DE UNA BOMBA DE CALOR PARA LA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

IMPLEMENTACIÓN Y MONTAJE DE LA ESTRUCTURA DEL BANCO DE PRUEBAS Y MONTAJE DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA.

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN INGENIERÍA MECÁNICA

LUIS ANDRES CORREA VARGAS

luis.correa@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. CARLOS NARANJO MENDOZA., Ph.D.

carlos.naranjo@epn.edu.ec

DMQ, Julio 2024

CERTIFICACIONES

Yo, Luis Andres Correa Vargas declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

LUIS CORREA

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Luis Andres Correa Vargas, bajo mi supervisión.

Ing. CARLOS NARANJO MENDOZA., Ph.D.
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como los productos resultantes del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Luis Andres Correa Vargas

Ing. Carlos Naranjo Mendoza., Ph.D.
Director

DEDICATORIA

Dedico este logro académico y de vida a mis padres, quienes siempre me apoyaron a pesar de las circunstancias, quienes fueron mi sustento y en quienes espero poder convertirme en algún día.

Dedico este trabajo a mi madre, Elba Vagras, quien nunca dudó de mi capacidad, quien siempre supo darme un consejo y quien nunca dejó de alentarme, aunque el camino pareciera tornarse oscuro.

A mi padre, Luis Correa, quien con su carácter forjó una persona capaz de sobrellevar cualquier reto sin temor alguno, esperando siempre los mejores resultados, pues la dedicación, la perseverancia y el trabajo fuerte siempre serán herramientas valiosas para poder conseguir cualquier objetivo.

A mi hermano, Cristhian Correa, mi guía, sin ti no hubiese podido llegar a donde ahora me encuentro, ni hubiese logrado lo que hasta ahora he conseguido, tu eres y siempre serás mi meta como ser humano, tu apoyo incondicional lo llevaré guardado siempre en mi corazón.

A mi enamorada, Andrea Gualavisí, mi luz durante toda mi carrera, mi motivación de convertirme siempre en una mejor persona, quien como mi familia jamás desconfió de mi ni de lo lejos que podría llegar, TE AMO por darme siempre tu apoyo y por nunca dejar que me rindiera.

Y finalmente dedico este trabajo a mi abuelito, Luis Alfredo Correa Pillajo, me hubiese encantado compartir este logro contigo y festejarlo de tu mano, gracias por haberme enseñado los valores que me han convertido en quien soy ahora. Te extraño y te extrañaré por toda mi vida.

A ustedes les dedico este trabajo, esperando que, como yo, se sientan orgullosos de esta meta que pude alcanzar.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, pareja, familiares y amigos que me acompañaron en este camino, quienes supieron brindarme su ayuda con sus consejos, y supieron darme ánimos de alguna manera. Estoy seguro de que este camino nunca habría sido lo mismo sin todos ustedes. Agradezco también a mi tutor Carlos Naranjo quien ha confiado en mí para el desarrollo de este proyecto y en quien veo un gran profesional, pero más importante, una gran persona.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos.....	2
1.3. Alcance	3
1.4. Marco teórico.....	4
1.4.1. Sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico	4
1.4.2. Consumo de agua en un hogar en Quito	8
1.4.3. Bomba de calor	9
1.4.3.1. Principio operativo	9
1.4.3.2. Bomba de calor para calentamiento de agua.....	10
1.4.4. Sistemas de almacenamiento de agua	12
1.4.4.1. Tipos de almacenamiento de agua.....	12
1.4.5. Sistemas de recirculación de agua	14
1.4.6. Estructuras metálicas.	15
1.4.6.1. Tipos de uniones aplicables a bancos de pruebas.....	15

1.4.6.2.	Modelos aplicables a bancos de pruebas	18
1.4.6.3.	Materiales utilizados en estructuras de bancos de pruebas	19
2.	METODOLOGÍA	21
2.1.	Requerimientos preliminares	22
2.2.	Descripción del espacio.....	24
2.3.	Requerimientos de distribución	24
2.4.	Dimensionamiento de la estructura	25
2.4.1.	Selección de materiales.....	27
2.5.	Análisis de estabilidad mediante simulación.....	28
2.6.	Planos	28
2.7.	Análisis de costos.....	28
2.7.1.	Costos de elementos normalizados	29
2.7.2.	Costos de materia prima.....	29
2.7.3.	Costos de fabricación	29
2.7.4.	Costo de diseño.....	30
2.7.5.	Costo de montaje.....	30
2.7.6.	Costos indirectos	31
2.7.7.	Costos imprevistos	31
2.8.	Construcción de la estructura	31
2.8.1.	Materiales	32
2.8.2.	Procedimiento.....	34
2.9.	Montaje del banco de pruebas, estructura y sistemas de almacenamiento, calentamiento y distribución de agua caliente sanitaria.	37

2.10.	Proceso de verificación	37
2.10.1.	Pruebas de estabilidad de la estructura bajo cargas estáticas y de operación, mediante inspección visual.....	37
2.10.2.	Pruebas de fugas en operación sobre el sistema de almacenamiento, calentamiento y distribución de agua caliente sanitaria.....	38
3.	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	39
3.1.	Resultados	39
3.1.1.	Dimensionamiento estructural.....	39
3.1.2.	Análisis de estabilidad mediante simulación	41
3.1.3.	Análisis de costos	42
3.1.4.	Construcción del banco de pruebas.....	43
3.1.5.	Pruebas de estabilidad	44
3.1.6.	Pruebas de fugas.....	45
3.2.	Conclusiones.....	46
3.3.	Recomendaciones.....	47
4.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
5.	ANEXOS.....	51

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene como propósito general el diseño, construcción y montaje de un equipo de calentamiento de agua para uso sanitario con enfoque didáctico. En las siguientes secciones se evalúan los componentes del sistema existentes previo al desarrollo del diseño, de donde se obtienen los requisitos de diseño que deberá soportar la estructura del banco de pruebas como mínimo para su funcionamiento óptimo, con estas cargas operativas definidas se procede entonces a desarrollar un modelo que satisfaga las necesidades tanto operativas como estéticas solicitadas por el CEPUR. En base al modelo propuesto se elabora un análisis presupuestario donde se incluyan los costos adquisitivos del sistema con el fin de evaluar el costo total del equipo y adicionalmente se consideran algunos valores que son comúnmente utilizados en el desarrollo de proyectos a múltiples escalas, es importante considerar que el proyecto será desarrollado en su totalidad por el titular de este trabajo y por tanto los costos de construcción se verán reducidos únicamente a los costos adquisitivos de materia prima y de los sistemas que conforman el equipo, que en este desarrollo son considerados como elementos normalizados.

De los resultados del análisis económico y de los prerrequisitos operativos del sistema se realizó el dimensionamiento de la estructura del banco de pruebas, de donde se obtuvo la selección de 2 tipos de perfiles estructurales para la construcción de la estructura, tubo rectangular 50x25x1.5 y tubo rectangular 40x20x1.5, mismos que son capaces de soportar las cargas generadas por el equipo en reposo y en operación a plena carga. Esta selección se elaboró en base a cálculos realizados sobre el miembro crítico de la estructura, que se obtuvo mediante simulación.

Con el equipo construido se realizaron pruebas de verificación de la estabilidad estructura y de la hermeticidad del equipo durante su operación, ambas pruebas fueron desarrolladas con el equipo en operación a plena carga durante un periodo de tiempo determinado, de donde se obtuvo que la estabilidad del equipo no se vio comprometida bajo ninguna condición operativa del equipo y que el mismo es completamente hermético al no presentar fugas ni rastros de humedad que pudieran poner en riesgo tanto a los sistemas eléctricos como a la misma estructura, demostrado así la confiabilidad del equipo.

PALABRAS CLAVE: Bomba, calor, banco, pruebas, didáctico, construcción.

ABSTRACT

The general purpose of this curricular integration work is the design, construction and assembly of a water heating equipment for sanitary use with a didactic approach. In the following sections the existing system components are evaluated prior to the development of the design, from which the design requirements that the structure of the test bench must support as a minimum for its optimal operation are obtained. With these defined operational loads, we proceed to develop a model that satisfies the operational and aesthetic needs requested by CEPUR. Based on the proposed model, a budget analysis is elaborated including the purchasing costs of the system in order to evaluate the total cost of the equipment and additionally some values that are commonly used in the development of multi-scale projects are considered. It is important to consider that the project will be developed entirely by the owner of this work and therefore the construction costs will be reduced only to the purchasing costs of raw materials and the systems that make up the equipment, which in this development are considered as standardized elements.

From the results of the economic analysis and the operational prerequisites of the system, the sizing of the test bench structure was carried out, from which the selection of 2 types of structural profiles for the construction of the structure was obtained, rectangular tube 50x25x1.5 and rectangular tube 40x20x1.5, which can support the loads generated by the equipment at rest and in operation at full load. This selection was made based on calculations made on the critical member of the structure, which was obtained by simulation.

Both tests were carried out with the equipment in operation at full load during a determined period of time, from which it was obtained that the stability of the equipment was not compromised under any operating condition of the equipment and that it is completely watertight as it does not present leaks or traces of humidity that could put at risk both the electrical systems and the structure itself, thus demonstrating the reliability of the equipment.

KEYWORDS: Pump, heat, structure, test, didactic, construction.

1. DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.

El presente trabajo de integración curricular tiene como objetivo principal el estudio del funcionamiento de una bomba calor aplicado a usos domésticos través de la construcción e implementación del equipo y el análisis de los datos obtenidos mediante un sistema electrónico de recolección de datos. La producción de calor se da en este caso debido a la cantidad de energía liberada por el refrigerante al cambiar de estado en un ciclo cerrado, captando energía del ambiente y transfiriéndola al sistema de calefacción.

En este caso, el enfoque se centra en de diseño y construcción de una estructura capaz de soportar un sistema a de almacenamiento y distribución de agua junto a una bomba de calor y a una bomba de recirculación, equipos que en conjunto darán como producto agua caliente sanitaria.

Una bomba de calor es un dispositivo que aprovecha la energía térmica del ambiente para calentar un fluido o un espacio de ser necesario, en una comparativa este dispositivo es cumple las funciones inversas al sistema utilizado en los refrigeradores. El ciclo termodinámico del que usa el sistema es un ciclo Rankine que puede modificarse según las necesidades, ya sea de calefacción, que es el caso, o de refrigeración.

El sistema de almacenamiento de agua se compone de un tanque cilíndrico, que será el encargado de simular una fuente de suministro constante para el consumo de agua sanitaria caliente, en este sistema se incluye una bomba de recirculación, que permitirá el calentamiento del agua almacenada con un caudal de suministro hacia la bomba de calor determinado, que permita el accionamiento del sistema.

La estructura de soporte para el equipo que operará a plena carga deberá soportar el peso estático de los equipos y el incremento en la carga generada por su operación.

El motivo de desarrollo de este equipo es el estudio de una alternativa sustentable en comparación a los métodos de calentamiento de agua actuales, pues los más comunes son los calefones que usan GLP para el calentamiento de agua y las resistencias eléctricas, mecanismo que requieren de un alto consumo energético para obtener agua a una temperatura determinada.

1.1. Objetivo general

Diseño, construcción y montaje de la estructura del banco de pruebas, sistema de calentamiento, almacenamiento y distribución de agua sanitaria.

1.2. Objetivos específicos

1. Diseñar la estructura del banco de pruebas, que se ajuste a las necesidades de carga estáticas y esfuerzos requeridos, considerando también las variaciones en operación del sistema de distribución de agua caliente.
2. Validar mediante softwares de simulación, el correcto funcionamiento del diseño estructural propuesto para el banco de pruebas.
3. Elaborar los planos estructurales del banco de pruebas para su posterior construcción.
4. Montar la estructura y los sistemas de calentamiento, almacenamiento y distribución de agua.
5. Evaluar la estructura del banco de pruebas bajo la aplicación de cargas de trabajo mediante inspección visual y el sistema de distribución del agua caliente mediante pruebas de fugas y verificar el adecuado funcionamiento de las válvulas y accesorios.
6. Redactar conclusiones y elaborar recomendaciones acerca de la implementación de una bomba de calor para el calentamiento de agua de uso doméstico.

1.3. Alcance

El alcance del proyecto de determina en construir y validar un equipo didáctico para el estudio del funcionamiento real de una bomba de calor para la producción de agua caliente sanitaria, específicamente para uso unifamiliar. Este proyecto será implementado en el “Centro de Perfeccionamiento en el Uso de Refrigerantes” de la Escuela Politécnica Nacional, dando como resultado un equipo didáctico que les permita a los estudiantes de ingeniería mecánica y mecatrónica aprender de manera práctica y experimental sobre los principios termodinámicos y mecánicos que subyacen en el funcionamiento de una bomba de calor en un contexto de aplicación práctica y realista. Se espera que el equipo didáctico sea capaz de proporcionar información precisa y confiable sobre el consumo de energía, la eficiencia y el rendimiento de la bomba de calor.

Se realizará como primera fase un análisis de los equipos y sistemas incluidos en el proyecto previo a su instalación, para obtener los parámetros de carga estática para diseñar la estructura del banco de pruebas. El dimensionamiento y selección de materiales que cumplan los requerimientos se evaluarán bajo estos parámetros de carga, desarrollando planos estructurales, según los cuales se construirá la estructura del sistema.

Con la etapa de diseño finalizada, se da paso a la etapa de construcción, que incluye una fase de cotización y compra de los materiales requeridos, tratamiento de los materiales, fabricación de secciones y el ensamble del esqueleto según las especificaciones definidas previamente en los planos del diseño.

Una vez se concluya con la construcción del esqueleto se realizará la implementación del equipo de calentamiento de agua de uso sanitario, ensamblando todos los componentes del sistema en la estructura, y posicionando según las necesidades los diferentes equipos.

Con el equipo implementado, se verificará la estabilidad de la estructura bajo cargas estáticas y la operación a plena carga del sistema de calentamiento de agua, mediante una inspección visual en ambas situaciones de trabajo, se evaluará el sistema de calentamiento, para observar filtraciones de agua y el funcionamiento de los accesorios del equipo.

1.4. Marco teórico

1.4.1. Sistemas de calentamiento de agua para uso doméstico

Los sistemas de calentamiento de agua a nivel doméstico se han vuelto parte fundamental para suplir diversas necesidades cotidianas como la cocina, limpieza y el aseo personal, necesidades básicas e indispensables para garantizar una buena calidad de vida. Existen diferentes sistemas que permiten cumplir con dichos propósitos y su selección depende de diversos factores como el económico, eficiencia energética o fuente de energía utilizada. Los sistemas más utilizados para calentamiento de agua a nivel doméstico se presentan a continuación: [1]

a. Sistemas solares para calentamiento de agua SWH

Este tipo de sistemas, para calentamiento de agua, son una opción popular que ha tomado fuerza debido al enfoque energético en el que la industria se ha tornado. Estos sistemas usan energía solar para calentamiento de agua; así, el consumo de electricidad o gas natural se reduce, igual que las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de una fuente renovable de energía. Este tipo de sistemas se dividen en dos grupos esenciales, pasivos y activos.

Sistemas pasivos: En este tipo de sistemas no se utilizan elementos para el movimiento del agua siendo más económicos que los sistemas activos. Como ejemplo, se tiene el calentador solar termosifón mostrado en la Figura 1. [1]



Figura 1. Sistema solar pasivo para calentamiento de agua, termosifón.[2]

Sistemas activos: Aquí se utilizan elementos como bombas y control mecánico para el flujo de agua. Suelen ser más eficientes y para funcionar de manera precisa y en diferentes condiciones que los sistemas pasivos, como se observa en la Figura 2. [1]

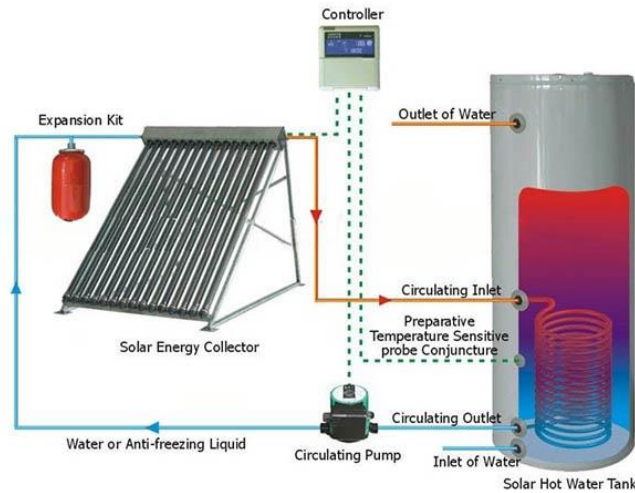


Figura 2. Sistema solar activo para calentamiento de agua, termosifón con recirculación.[3]

b. Integración de materiales de cambio de fase (PCM)

Estos materiales permiten la absorción o liberación de energía en grandes cantidades para generar cambio de fase. Al implementar PCM en los sistemas solares permiten aumentar la capacidad de almacenar calor, de este modo, el agua se podrá mantener a temperatura considerable por más cantidad de tiempo sin importar que no haya sol. Estos materiales pueden mejorar la eficiencia del sistema manteniendo el agua caliente para diversos momentos del día. Se muestra este modelo en la Figura 3. [4]

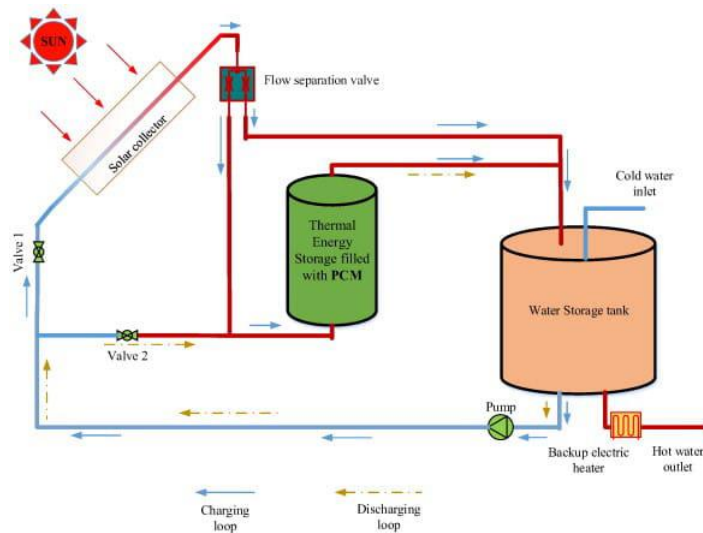


Figura 3. Sistema de calentamiento de agua con tecnología basada en PCM.[5]

c. Sistemas convencionales: eléctricos y a gas

Calentadores de agua eléctricos: Estos sistemas funcionan con resistencias eléctricas como el medio para el calentamiento de agua. Su instalación y mantenimiento son relativamente sencillos, sin embargo, el costo operativo depende del costo de la electricidad, de igual manera, la obtención de dicha electricidad puede contribuir a la generación de GEI. [4]

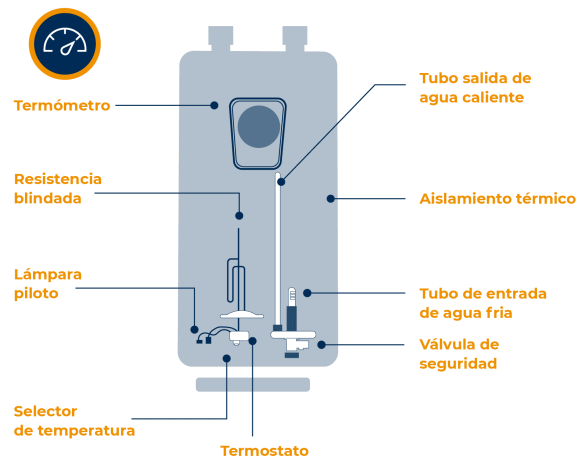


Figura 4. Sistema de calentamiento de agua eléctrico.[6]

Calentadores de agua a gas: Para este tipo de sistemas, se utiliza gas natural o propano para el calentamiento de agua, suelen ser más económicos y con mayor eficiencia que

los calentadores eléctricos pero su instalación suele ser más compleja y costosa ya que se necesitan conexiones para el gas y una adecuada ventilación.[4]

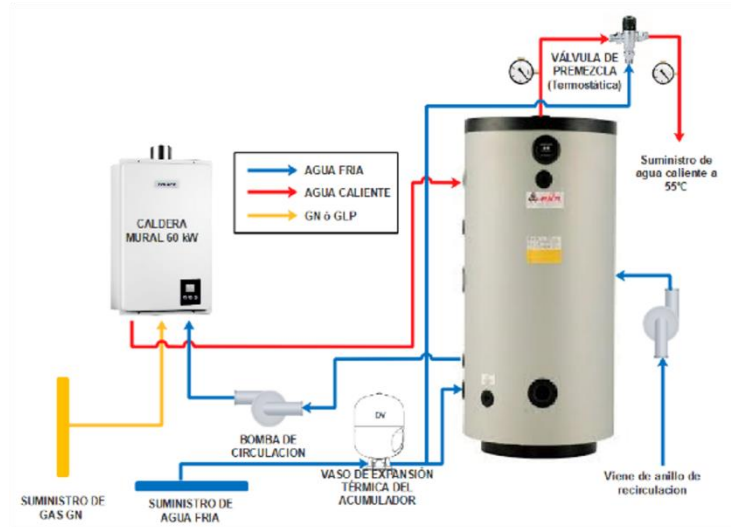


Figura 5. Central doméstica de producción y almacenamiento de agua caliente sanitaria.[7]

d. Sistemas híbridos e inteligentes

En los sistemas híbridos se suele combinar la fuente solar para calentamiento con otra fuente como eléctrica o gas, de este modo se asegura la disponibilidad de agua caliente en diferentes casos o, por otro lado, se puede utilizar el sistema solar para generar un precalentamiento del agua y la otra fuente para llegar a la temperatura deseada en la misma reduciendo significativamente el uso de electricidad o gas lo cual reduce a su vez el costo operativo.

Con la implementación de sistemas como termostatos inteligentes, es posible regular parámetros como flujo de agua y temperatura, de este modo, se puede programar el tiempo para calentamiento del agua maximizando la eficiencia energética. [1]

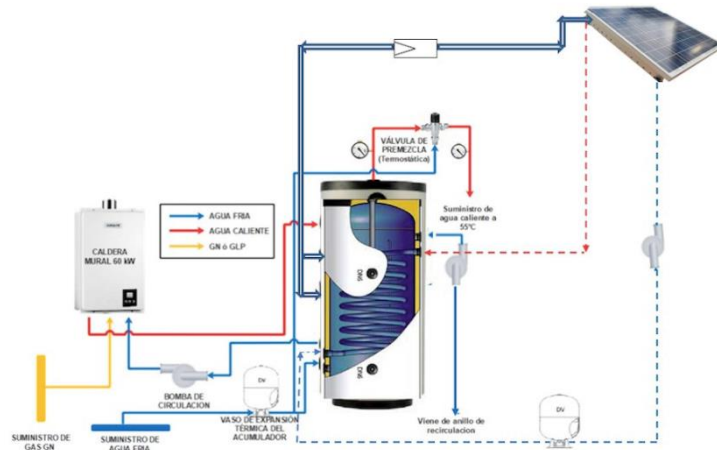


Figura 6. Sistema híbrido complementario de calefacción solar – gas.[7]

1.4.2. Consumo de agua en un hogar en Quito

El consumo de agua en Ecuador varía dependiendo de la región que sea objeto de estudio, pues para definir el consumo es importante considerar también la infraestructura disponible en cada una de ellas y las fuentes de agua disponibles capaces de suplir las necesidades. En la Figura 7, se muestran consumos regulares. [8]



Figura 7. Consumos regulares en usos domésticos.[9]

El consumo de agua en la ciudad de Quito es de un nivel alto si se compara con otras ciudades de Latinoamérica, este promedio se estima alrededor de 250 litros por persona cada día, y este valor no varía mucho pese a fluctuaciones del precio del agua y los ingresos per cápita. Quito ha enfrentado problemas de escasez de agua por lo cual su gestión e infraestructura debe ser mejorada además de implementar políticas de precios que fomenten la sostenibilidad de su consumo. [10]

1.4.3. Bomba de calor

Estos dispositivos permiten la transferencia de energía térmica desde una fuente de mayor temperatura a una de menor temperatura mediante un ciclo de refrigeración. Con su utilización, es posible la calefacción como el enfriamiento de espacios y además el calentamiento de agua para distintas aplicaciones. Las bombas de calor son muy eficientes pues el calor es transferido en lugar de ser generado. Una clasificación general puede basarse en la fuente del calor, por tanto, se tiene:

Bomba de calor aire-aire: Toma calor desde una fuente externa el cual es transferido hacia el interior del volumen de control.

Bomba de calor agua-aire: Toma calor desde una fuente externa el cual es transferido a un sistema de agua caliente.

Bomba de calor geotérmica: este sistema toma calor desde el suelo o desde agua ubicada bajo tierra lo que hace más costosa su instalación, pero sigue teniendo alta eficiencia. [11]

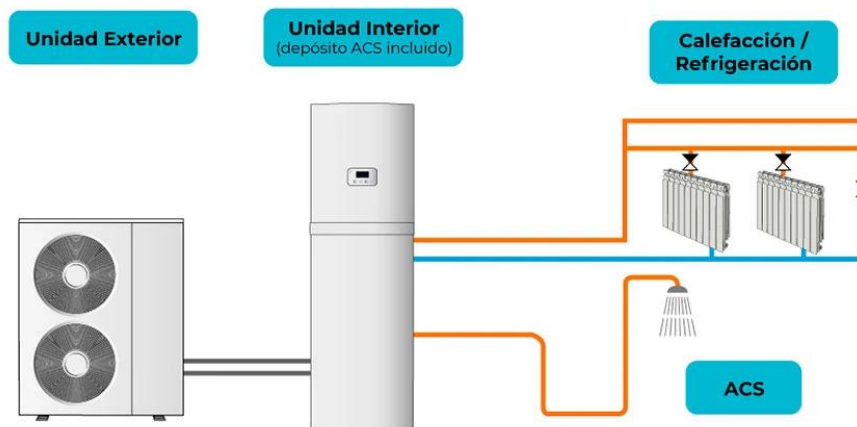


Figura 8. Esquema de bomba de calor para calentamiento o refrigeración de agua de uso doméstico. [12]

1.4.3.1. Principio operativo

El proceso de funcionamiento de una bomba de calor se basa en un ciclo de refrigeración por compresión de vapor con los siguientes componentes:

Compresor: Este componente permite la compresión del refrigerante de modo que exista un aumento en la presión y la temperatura. En el compresor, entra el refrigerante en forma de gas y al salir, el gas tendrá mayor presión y temperatura.

Condensador: En este componente, se recibe el gas a alta temperatura y presión, y se libera el calor hacia el ambiente destinado para ello, con la cesión de calor, el refrigerante empieza a pasar a estado líquido con alta presión.

Válvula de expansión: Al pasar el refrigerante por la válvula, se reduce la presión en el fluido que además permite la caída en la temperatura donde se tiene una mezcla de vapor y líquido a baja presión.

Evaporador: En este componente, el refrigerante entra a presión baja y absorbe calor del ambiente, ya sea del suelo o del aire exterior, con el que el refrigerante se evaporará a baja presión para que, finalmente, el ciclo se repita.

Las bombas de calor pueden usarse para calefacción, ventilación para el hogar. Otras aplicaciones pueden darse para sistemas de piscinas o de agua caliente sanitaria, además en calefacción de instalaciones urbanas grandes que puede ser distribuido a varios edificios. [13]

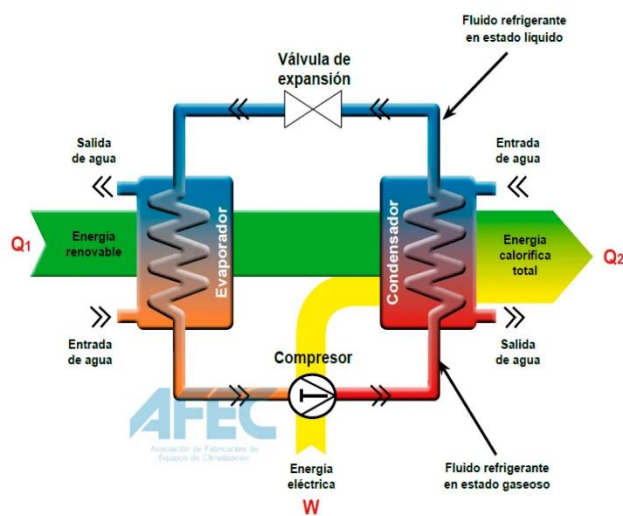


Figura 9. Ciclo de operación para bombas de calor (calefacción y refrigeración).[14]

1.4.3.2. Bomba de calor para calentamiento de agua

El sistema consta de un dispositivo que permite la producción de agua caliente para uso sanitario con un consumo mínimo de electricidad de buena calidad, capaz de intercambiar el calor con baja calidad del aire hacia la fuente de calor con mayor temperatura. Es el sistema de calentamiento de agua más común donde el esquema se muestra en Figura 10. [13]

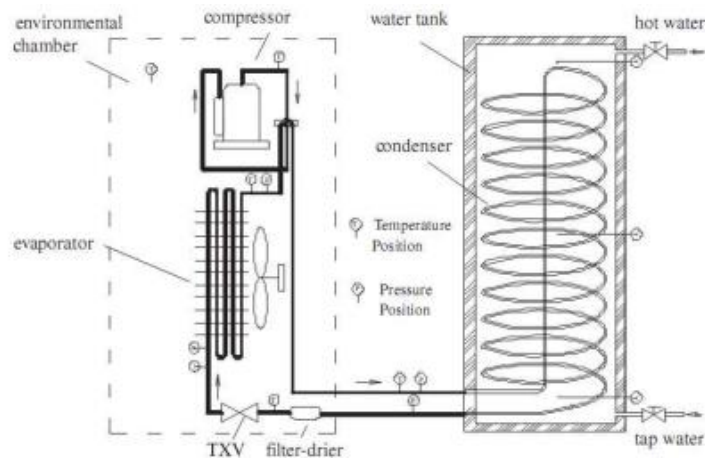


Figura 10. Diagrama de bomba de calor.[15]

Una bomba de calor tiene un rendimiento COP que representa la relación entre el calor que se transfiere y la energía que ha sido consumida con el fin de mover el calor. El COP cambia dependiendo de la fuente de calor y sumidero, en este sentido, los sistemas más estables son las bombas de calor geotérmicas pues el suelo tiene una temperatura más estable que el aire exterior. [13]



Figura 11. Eficiencia de equipos de calefacción.[14]

Estos sistemas presentan varias ventajas, cuando se tiene un COP más alto se produce más energía calórica de la que se consume como energía eléctrica. Cuando se utilizan fuentes de energía renovable, la emisión de gases de efecto invernadero se reducen y pueden ser utilizadas en diferentes condiciones de climas y distintas fuentes de calor. Por otro lado, el costo inicial de la instalación puede ser elevado y su rendimiento se disminuye según las condiciones de funcionamiento. [13]

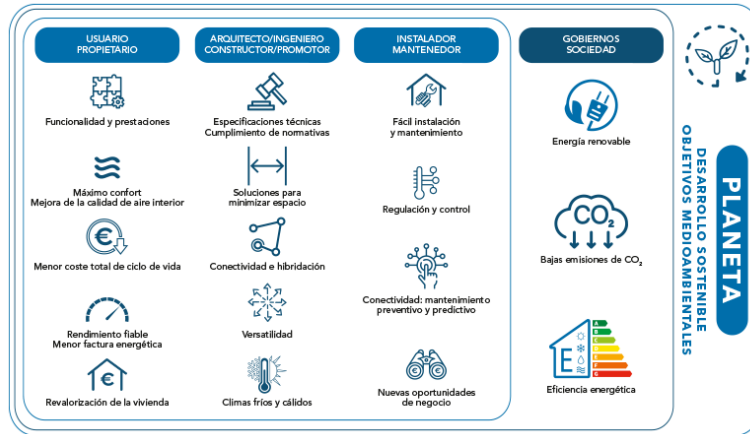


Figura 12. Ventajas del uso de bombas de calor como equipos de calefacción. [14]

1.4.4. Sistemas de almacenamiento de agua

El almacenamiento de agua es una práctica que permite el suministro de agua maximizando el ahorro de esta y que pueda tener diferentes usos en especial para zonas donde las sequías son comunes. Los sistemas de almacenamiento pueden ser de diferente tamaño o complejidad como tanques sencillos hasta embalses. [16]

1.4.4.1. Tipos de almacenamiento de agua

- Tanques de almacenamiento doméstico: Estos sistemas suelen ser fabricados de materiales como plástico, acero, concreto, entre otros y puede contener en su interior pequeñas cantidades de agua hasta almacenar miles de litros de fluido. Se puede almacenar agua potable, agua recolectada de la lluvia o incluso el agua a altas temperaturas. [16]



Figura 13. Tanque de almacenamiento doméstico.[7]

- Embalses y represas: Permiten el almacenamiento de volúmenes grandes de agua que puede servir para riego, control de inundaciones o para suministro de agua en grandes redes de ciudades. Suelen tener un sistema para liberar el agua de manera controlada, un sistema de contención del fluido y para almacenarlo.



Figura 14. Embalse.[17]

- Sistema de almacenamiento de agua lluvia: La condición más importante de estos sistemas es su diseño, donde la mayoría cuenta con un área de captación, canales para conducir el agua captada, filtros que mantengan el fluido utilizable, un tanque para almacenarla y tuberías para su distribución. Mediante su utilización, se reduce la demanda de agua potable en actividades como riego y uso sanitario. [16]



Figura 15. Sistema de captación de agua lluvia.[18]

- Sistemas subterráneos: Existen varios sistemas bajo tierra como los pozos, cisternas o acuíferos, esto permite minimizar la utilización de área superficial para el almacenamiento de agua, de este modo, el agua almacenada ya no se contaminará o evaporará.



Figura 16. Sistema de almacenamiento subterráneo, cisterna.[19]

Mantener la calidad en el agua almacenada, depende de varios factores como las buenas prácticas para el proceso, es necesario mantener la higiene con una adecuada frecuencia de limpieza, de este modo, el agua se mantendrá limpia y consumible, mediante esto se puede evitar la presencia de indicadores biológicos, bacterias coliformes, etc.

1.4.5. Sistemas de recirculación de agua

Los sistemas de recirculación permiten garantizar un el suministro adecuado de agua en distintas zonas, tanto rurales como urbanas que mantengan la calidad y presión de distribución del agua. Puede utilizarse en sistemas que requieren agua caliente de modo que se reduzca el desperdicio de agua. Deben garantizar que el agua a cierta temperatura siempre esté disponible de manera inmediata, y que así no se desperdicie el agua fría que fluya hasta alcanzar la temperatura deseada.[20]

El sistema debe contar con componentes que regresen el agua no utilizada hasta la fuente de almacenamiento y poder volverla a distribuir evitando desperdicios, se podrían considerar las siguientes etapas como fundamentales:

- **Recolección de agua:** Se toma el agua que no haya sido utilizada o agua que haya sido parcialmente usada que se podría destinar a otros fines.
- **Filtrado:** En este proceso, se desea eliminar los contaminantes adquiridos por el agua durante el proceso y así pueda reutilizarse.
- **Redistribución:** Se realiza mediante un sistema de bombas que permitan el movimiento del agua para que no se estanque y llegue rápidamente al punto requerido.

[21]

Utilizar agua recirculada se reduce la utilización de agua fresca conservando los recursos hídricos, de este modo se reducen los costos correspondientes al suministro y el tratamiento del agua, de este modo se conserva el medio ambiente y se reduce al máximo su contaminación.[22]



Figura 17. Bomba de recirculación con válvula de regulación.[23]

1.4.6. Estructuras metálicas.

Las estructuras metálicas son un tipo de soporte que se utiliza comúnmente en la industria de la construcción, cuya principal función es la de brindar estabilidad a diferentes aplicaciones. Este tipo de construcciones se compone de elementos metálicos, principalmente de acero, que conforman una estructura sólida que cambiará sus propiedades en función de la distribución de estos elementos.



Figura 18. Construcción metálica.[24]

1.4.6.1. Tipos de uniones aplicables a bancos de pruebas

Cada tipo de unión que se presenta a continuación tiene características ligadas a su funcionalidad, por tanto, el equipo y las pruebas que se realizan no deben suponer un riesgo a la estabilidad de estas uniones.

a. Uniones roscadas

Las principales ventajas de este tipo de uniones son: permite montar y desmontar fácilmente el número de veces que el operario crea necesario, ya sea durante revisiones periódicas o durante el mantenimiento del equipo. La principal desventaja de este tipo de uniones es el deterioro que presenta la junta, al no ser fija, las secciones que unen cada elemento se encuentran sujetas al desgaste propio de la fricción o la presión generada al soportar cargas.[25]

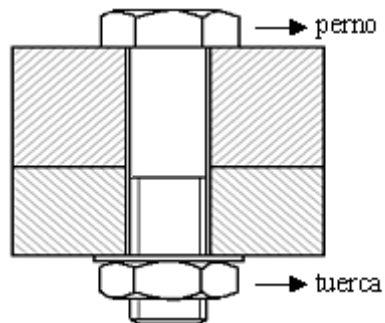


Figura 19. Unión roscada, perno - tuerca.[26]

b. Uniones soldadas

A diferencia de las uniones roscadas, estas no permiten que se desmonte la estructura, le provee a la misma firmeza y confiabilidad siempre y cuando las juntas soldadas sigan los parámetros de calidad, así como el tipo de electrodo utilizado. Otra de las ventajas es el sellado, la junta en este caso se funde con el material base, por tanto, se genera una junta hermética de alta durabilidad. [25]



Figura 20. Cordón de soldadura.[27]

c. Uniones bridadas

Como su nombre lo dice, este tipo de uniones ocupan de elementos llamados “bridas”, las uniones con este tipo de elementos son firmes y también pueden ser desmontadas, comúnmente se usan en tuberías y válvulas. Al momento de la instalación se debe tener en cuenta todo el espacio que van a ocupar las bridas y los tornillos en el diseño final del equipo. [25]

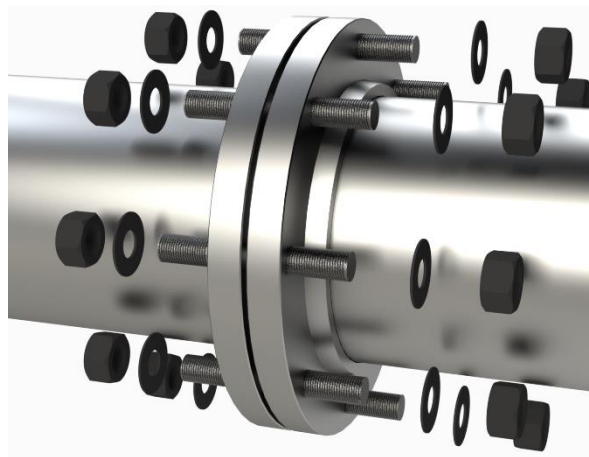


Figura 21. Unión bridadada.[28]

d. Uniones de compresión

Comúnmente empleado para unir tuberías y mangueras. Aquí se emplea un anillo ajustable para establecer una unión hermética entre los dos elementos. Se debe tener especial cuidado cuando se va a trabajar a altas presiones. [25]



Figura 22. Acoples de compresión.[29]

En el equipo se emplean las uniones soldadas y uniones por compresión, las primeras se encargan de establecer una unión de cada uno de los tubos ya sea de la base estructural y del soporte de componentes. La unión por compresión se encuentra en todas las conexiones de agua de suministro, drenaje y consumo.



Figura 23. Uniones para distribución de agua. [Fuente propia]

1.4.6.2. Modelos aplicables a bancos de pruebas.

Acorde al estudio que se desea realizar, los bancos de prueba tienen una amplia gama de tipos, cada uno con características y finalidades muy diferentes al otro.

a. Bancos de pruebas hidráulico

Empleado para visualizar el comportamiento y funcionalidad de elementos hidráulicos como son las bombas de agua, válvulas de control de caudal y alivio de presión y

cilindros hidráulicos. El tipo de mediciones usuales son, el caudal, temperatura y presión del fluido empleado.

b. Banco de pruebas neumáticas

Empleado para llevar a cabo pruebas que utilicen aire como fluido de trabajo, al tomar en cuenta que el aire es un fluido, se vuelven a evaluar el caudal, temperatura y presión. Normalmente, se estudia el comportamiento de actuadores, sistemas de control neumático como lo son empacadoras y maquinas o también de todo tipo de herramientas neumáticas. Dado que el aire no es un contaminante, son ideales para analizar el comportamiento de este fluido cuando existen fugas.

c. Banco de pruebas de motores

Como su nombre lo dice, este tipo de banco de pruebas busca conocer el funcionamiento de los motores ya sea de combustión interna (gasolina, diésel) y también los eléctricos. Aquí se puede medir el consumo de combustible, temperatura superficial e interna, las emisiones y potencia que se genera.

d. Banco de pruebas electrónicos

Este banco de pruebas analiza la funcionalidad de equipos que emplean a la electricidad como su fuente de energía, aquí se estudia el consumo, el voltaje de trabajo u otros parámetros eléctricos propios de estas maquinarias.

e. Banco de pruebas térmico

Destinado a analizar el comportamiento de equipos que experimentan cambios en el parámetro térmico en sus diferentes secciones o partes. Permite simular condiciones de alta y baja temperatura en todo o partes del equipo, es valorado en áreas de la industria, alimentos y farmacéutica.

[30], [31], [32]

1.4.6.3. Materiales utilizados en estructuras de bancos de pruebas

Dependiendo de la aplicabilidad del banco de pruebas se escoge un material adecuado para soportar ya sea la carga, el tipo de vibraciones o también el tiempo de vida útil esperado.

a. Acero

Destinado a bancos de prueba por su alta resistencia y durabilidad, ideal para estructuras que toleran altas cargas o equipos robustos.

- Acero al carbono. – su bajo costo lo convierte ideal en estructuras de aplicación general.
- Acero Inoxidable. – en caso de utilizar fluidos corrosivos o ácidos este material es ideal para evitar el deterioro acelerado de la estructura.

b. Aluminio

Siempre que la manipulación de la estructura sea usual, es esencial que su peso no sea un factor que imposibilite a los operarios su manipulación, a diferencia del acero, el aluminio es liviano, adicional a esto este tipo de material resiste satisfactoriamente los ambientes corrosivos. La principal desventaja de este material es su alto costo con respecto al volumen adquirido.

c. Plásticos de ingeniería

Este grupo de materiales ampliamente utilizados en bancos de pruebas son los policarbonatos, nylon y el polietileno de alta densidad. Se emplean como paredes, paneles o para proveerle protección a equipos delicados dentro de la estructura más robusta, su peso y resistencia a la corrosión los vuelven ideales para usarse en ambientes donde las pruebas emplean sustancias dañinas para el acero o aluminio, incluso sirven como materiales aislantes de calor y corriente. La principal desventaja es su baja resistencia para trabajar sometidos a cargas de cualquier tipo.

d. Madera y derivados

Usualmente usada en bancos de prueba de uso didáctico y más simples, la madera es fácil de trabajar, su bajo costo y sus propiedades de aislamiento térmico les permite a los constructores estimar bajos costos en esta estructura. El deterioro de este material supone la primera desventaja, por tanto, se debe evitar exponerlo a entorno con alta humedad.

2. METODOLOGÍA

En esta sección se desarrolla un modelo sistemático y organizado comprendido en varias etapas que dará como resultado la implementación de un banco de pruebas que para este componente no permitirá la recolección de datos. Se establece entonces el flujograma de la Figura 24.

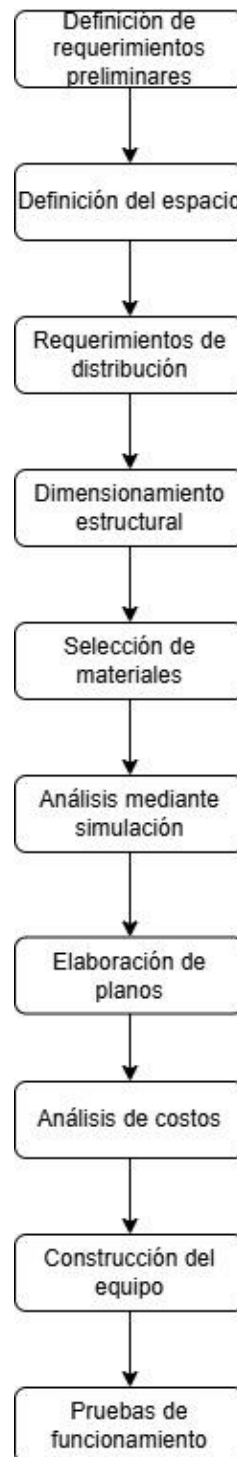


Figura 24. Flujograma [Fuente propia]

2.1. Requerimientos preliminares

Previo a la instalación del proyecto fueron entregados 3 equipos que conforman el sistema de almacenamiento y calentamiento y recirculación de agua, el análisis de estos elementos da como resultado un parámetro de diseño que será la carga estática que la estructura ha de soportar en su operación. Se listan a continuación ambos elementos

- Bomba de calor KF70-X
- Tanque de almacenamiento de agua de 30 galones.
- Bomba de recirculación LEO LRP15-90A/160

Es por tanto necesario que los requerimientos fundamentales de la estructura satisfagan como mínimo la carga generada por estos equipos. Se determinará entonces la carga generada por los elementos como el peso de la bomba de calor y del tanque de almacenamiento y del dispositivo de recirculación según su ficha técnica y el cálculo del peso del generado por el fluido considerando un estado de trabajo a su máxima capacidad según la Ecuación 1.

$$W = m * g \quad (1)$$

Donde:

W : Peso [N]

m : Masa [kg]

g : Gravedad, $9.81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$

Adicional a esto se deberá considerar la Ecuación 2.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido, (agua) $1000 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$

m : Masa [kg]

V : Volumen de almacenamiento [m^3]

El tanque a plena capacidad es capaz de almacenar 30 galones de agua por lo tanto la carga máxima generada por el agua será.

$$V_{tanque} = 30 [\text{gal}] * \frac{1 [\text{m}^3]}{264.172 [\text{gal}]} = 0.1137 [\text{m}^3]$$

Luego

$$m_{agua} = \rho_{agua} * V_{tanque}$$

$$m_{agua} = 1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] * 0.1137 [\text{m}^3] = 113.7 [\text{kg}]$$

Adicionalmente se considera que existen 13 kg de agua cargado en la bomba de calor utilizados para “purgar” el sistema.

Ahora se calcula el peso total con la Ecuación 3.

$$W_{total} = W_{bomba} + W_{tanque} + W_{recirculación} + W_{agua} \quad (3)$$

Donde

W_{bomba} : Peso de la bomba [N]

W_{tanque} : Peso del tanque vacío [N]

$W_{recirculación}$: Peso de la bomba de recirculación [N]

W_{agua} : Peso generado por el agua en el tanque y en la bomba de calor [N]

Reemplazando (1) en (3) se obtiene que

$$W_{total} = (m_{bomba} + m_{tanque} + m_{recirculación} + m_{agua}) * g$$

Entonces se determina que la estructura deberá ser capaz de soportar como mínimo:

$$W_{total} = (40 + 60 + 5 + 113.7 + 13) [\text{kg}] * 9.81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$W_{total} = 2272.98 [\text{N}]$$

2.2. Descripción del espacio

El espacio donde operará el equipo se ubica en el “Centro de Perfeccionamiento de Uso de Refrigerantes”, que cuenta con un área de $2\text{ m} \times 1.2\text{ m}$ para el posicionamiento del banco de pruebas y su operación.

Se considera también que el acceso no limitará el ingreso de los equipos y por tanto la distribución del equipo y sus componentes será quien defina las dimensiones totales del mismo.

En la distribución de componentes se considera también que los elementos de mayor importancia como el tanque de almacenamiento, la bomba de calor y bomba de recirculación se encuentren por dentro de la estructura para evitar posibles daños sobre los equipos debido a impactos no deseados.

2.3. Requerimientos de distribución

La distribución de componentes se realiza considerando la ubicación de las líneas entrada y salida del agua para la bomba de calor y las líneas de entrada, salida y alimentación para el tanque de almacenamiento, por tanto se define una distribución, que posiciona al tanque de almacenamiento a la izquierda de la bomba de calor con las entradas y salidas de agua orientado con el frente de la estructura, la línea de alimentación y purga del tanque se encontrarán orientados a la parte posterior del banco de pruebas, considerando la ubicación de las tomas de agua potable, desagüe y fuente de alimentación de 220 V.

Para que el agua circule a través de la bomba de calor se incluye en los equipos una bomba de recirculación que se alimenta desde el tanque de almacenamiento y entrega un flujo constante y regulado a la bomba de calor según las especificaciones técnicas, sin embargo, este flujo podrá ser adaptado según las necesidades haciendo uso de una válvula de bola, esta bomba de recirculación se enlazara a la bomba de calor para que ambos equipos trabajen sincronizadamente y por tanto el trabajo de la bomba sea eficiente.

Es importante considerar que el área ocupada por el banco de pruebas deberá ser, en sus dimensiones lineales, menor al área establecidas en la descripción del espacio.

Se propone una estructura de 1.4 [m] de largo y 1 [m] de ancho con una altura total de 1.85 [m] , donde se construirá un espacio para un panel de control vertical, una mesa para posicionar los sistemas de recolección de datos electrónicos, una jaula para la

bomba de calor y bomba de recirculación, y una base para el tanque de almacenamiento.

2.4. Dimensionamiento de la estructura

Como se ha determinado, la estructura debe ser capaz de soportar las cargas producto del sistema compuesto por el tanque de almacenamiento, bomba de calor, y bomba de recirculación en operación a plena carga y por consiguiente en estado estable, mismas que se traducen en la sumatoria de los pesos individuales según se establece en la Ecuación 2.

Con este preámbulo se definen las siguientes consideraciones sobre la estructura.

- Sección de los elementos: rectangular.
- Material: Acero A36
- Todos los elementos que conformen el marco de la base, mesa y panel de control de la estructura serán de una misma sección, al igual que los elementos que conformen el mallado interno.
- Las cargas, producto de los elementos adicionales que requiera el equipo, serán despreciables en comparación a las cargas generadas por los ya mencionados.

Del diseño conceptual se obtiene el modelo alámbrico, según las especificaciones requeridas, que se muestra en la Figura 25.

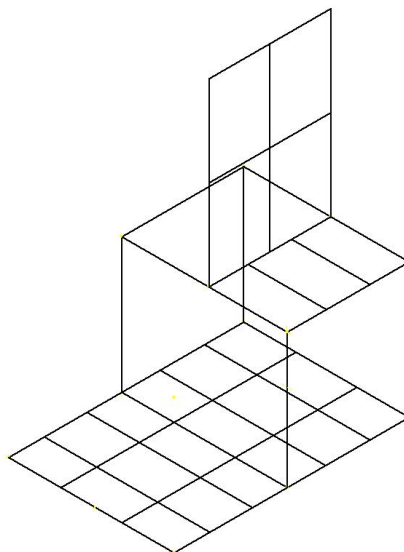


Figura 25. Modelo alámbrico de la estructura del banco de pruebas [Fuente propia]

Con este diseño conceptual se desarrolla entonces un esquema de distribución de los equipos principales a ser equipados en la estructura que se muestra en la Figura 26.

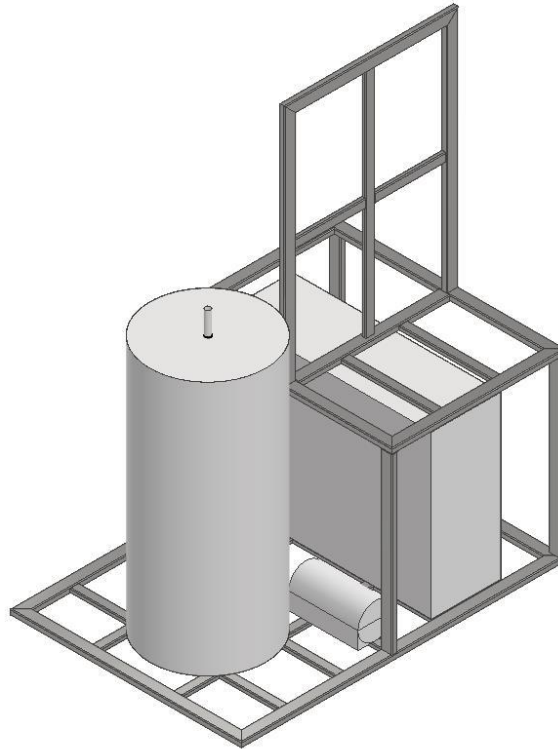


Figura 26. Distribución de equipos en la estructura del banco de pruebas [Fuente propia]

Para la selección del perfil adecuado se desarrolla un cálculo de la sección considerando los diagramas de cortante y momento flector, específicamente en los elementos que han de soportar la mayor carga, donde asientan los componentes del equipo, haciendo uso de la Ecuación 4.

$$\frac{M_{max}}{S} \leq \frac{\sigma_y}{FS} \quad (4)$$

Donde:

M_{max} : Momento máximo.

S : Módulo de sección.

σ_y : Esfuerzo de fluencia del material [MPa]

FS : Factor de seguridad.

Para este caso de diseño se considera que las cargas a las que la estructura se ha de someter son de tipo estáticas, por lo que el valor recomendado para el factor de seguridad será 2.

Se procede entonces a ejecutar una simulación considerando que los elementos a utilizar son tubos de sección rectangular y las cargas se distribuirán, en la base de la estructura de la siguiente manera, como se muestra en la Figura 27.

- 4 cargas puntuales distribuidas simétricamente para el tanque de almacenamiento con un peso total de 1703.997 [N], 425.99 [N] cada punto.
- 1 carga puntual para la bomba de recirculación con un valor de 49.05 [N].
- 2 cargas distribuidas iguales para la bomba de calor con un peso total de 519.93 [N], $0.28885 \left[\frac{N}{mm} \right]$ cada una.

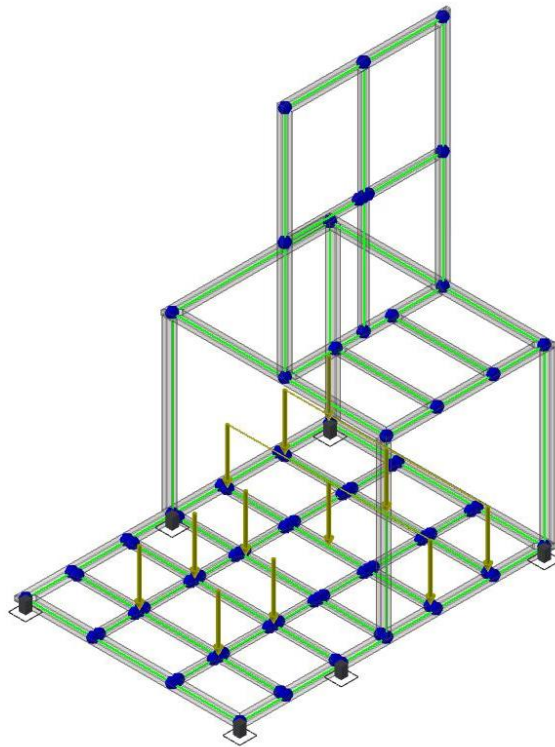


Figura 27. Estructura con cargas distribuidas [Fuente propia]

2.4.1. Selección de materiales

De los datos entregados por la simulación de cargas en la estructura, se definirá a través del diagrama de momento flector, el momento máximo que determinará mediante la

Ecuación 4, la sección S mínima que el perfil seleccionado deberá tener para satisfacer un factor de seguridad $FS \geq 2$.

Adicionalmente se seleccionarán, bajo las condiciones finales de carga incluido el peso de la estructura, las garruchas que permitirán la movilidad del equipo según la necesidad, haciendo uso de la Ecuación 5.

$$Capacidad_{garruchas} \geq \frac{W_{total} + W_{estructura}}{N^{\circ}_{garruchas}} \quad (5)$$

Donde:

$Capacidad_{garruchas}$: Carga máxima [N]

W_{total} : Peso total generado por los sistemas en conjunto [N]

$W_{estructura}$: Peso total generado por el ensamble estructural [N]

$N^{\circ}_{garruchas}$: Número de elementos requeridos (6 soportes)

2.5. Análisis de estabilidad mediante simulación

A través de la simulación de la estructura bajo las condiciones de carga establecidas se deberá comprobar que la deformación o desplazamiento presente en el elemento de mayor criticidad sea menor a 1 mm, así se quedará demostrado que la estructura es estable.

2.6. Planos

El desarrollo de los planos se ejecutará en función de las normativas de dibujo técnico ecuatoriano, en este apartado se presentarán entonces los siguientes planos.

- Plano PID: Diagramas de tuberías e instrumentación.
- Estructura

2.7. Análisis de costos

Para esta sección se considerarán valores únicamente relacionados a la construcción y otros eventos, de la estructura del banco de pruebas, por tanto, los valores adquisitivos de otros instrumentos no serán considerados para este componente.

2.7.1. Costos de elementos normalizados

El costo de los elementos normalizados será determinado por el mercado, basando este valor en cotizaciones, realizadas por el ejecutor del proyecto, de diferentes distribuidoras que ofrezcan el o los productos requeridos. En este análisis este valor será representado como C_E . [33]

2.7.2. Costos de materia prima

Se costo de la materia prima se define como el producto del peso por el costo unitario de la materia prima requerida, este costo unitario es obtenido también mediante un proceso de cotizaciones, y se calculará según la Ecuación 6. [33]

$$C_{MP} = W_{requerido} * Costo_{unitario} \quad (6)$$

Donde:

C_{MP} : Costo de materia prima.

$W_{requerido}$: Peso requerido [kg]

$Costo_{unitario}$: Costo unitario de la materia prima $\left[\frac{USD}{kg} \right]$

2.7.3. Costos de fabricación

Los costos de fabricación son el producto del tiempo de fabricación y el costo de la hora hombre – maquina, que es equivalente al costo del tiempo invertido por un operador en ejecutar una operación. Se caula mediante la Ecuación 7. [33]

$$C_F = T_F * C_{H,hm} \quad (7)$$

Donde

C_F : Costo de fabricación [USD]

T_F : Tiempo de fabricación [horas]

$C_{H,hm}$: Costo hora, hombre maquina $\left[\frac{USD}{hora} \right]$

Para las operaciones involucradas en el proceso constructivo se obtuvieron los siguientes valores referenciales organizados por operación requerida, estos valores

fueron recolectados a través de consultas personales a metalmecánicas que dan soporte en fabricación de estructuras. Los costos referenciales se listan en la Tabla 1.

Tabla 1. Costos referenciales para operaciones requeridas [Fuente propia]

Operación requerida	$C_{H,hm} \left[\frac{\text{usd}}{\text{hora}} \right]$
Soldadura tipo SMAW	10
Corte con esmeriladora angular	4
Pulido con esmeriladora angular	2

2.7.4. Costo de diseño

El costo de diseño se ve definido como un valor porcentual sobre la sumatoria de los costos de construcción individuales y se calcula según la Ecuación 8. [33]

$$C_D = (C_E + C_{MP} + C_F) * U \quad (8)$$

Donde:

C_D : Costo de diseño [USD]

U: Utilidad

Generalmente este valor de utilidad esperada se establece entere el 15% y el 50 % de total invertido directamente en la construcción dependiendo del contexto y la situación, para este desarrollo de análisis de costos, se asumirá que el porcentaje de ganancia sobre el costo total de fabricación será del 15%.

2.7.5. Costo de montaje

Al igual que el costo del diseño, el costo de montaje también representa un valor porcentual sobre el costo total de construcción del equipo, este se calcula según la Ecuación 9. [33]

$$C_M = (C_E + C_{MP} + C_F) * M \quad (9)$$

Donde:

C_M : Costo de montaje [USD]

M: Valor porcentual sobre el costo total de construcción

El valor referencial del porcentaje de montaje puede variar entre el 10% al 15% para proyectos simples, este valor puede variar o incrementar dependiendo de la situación, para este desarrollo se considerará un valor del 10%

2.7.6. Costos indirectos

Para el cálculo de los costos indirectos se debe considerar al igual que en el costo del montaje, un valor porcentual sobre el costo total de construcción, y la se calcula según la Ecuación 10. [33]

$$C_I = (C_E + C_{MP} + C_F) * I \quad (10)$$

Donde:

C_I : Costos indirectos [USD]

I: Valor porcentual sobre el costo total de construcción, referente a costos indirectos.

El valor porcentual para este caso oscila entre el 10% al 15%, se determina entonces que este valor será del 10%

2.7.7. Costos imprevistos

Los costos imprevistos se calculan como el porcentaje sobre el valor total de construcción, y están relacionados con los riesgos que puedan o no presentarse en la construcción del equipo. Para su cálculo se usa la Ecuación 11. [33]

$$C_{IM} = (C_E + C_{MP} + C_F) * IM \quad (11)$$

Done:

C_{IM} : Costos imprevistos [USD]

IM: Valor porcentual sobre el costo total de construcción, referente a costos imprevistos.

El valor porcentual para este caso oscila entre el 5% y 15%, se determina entonces que este valor será del 5%

2.8. Construcción de la estructura

En esta sección se definirá el procedimiento a seguir para la construcción de la estructura del banco de pruebas para el montaje de los sistemas que conforman el equipo.

2.8.1. Materiales.

- a. 2 perfiles de acero estructural 40x20x1.5 mm.
- b. 3 perfiles de acero estructural 50x25x1.5 mm.
- c. 2 kg de electrodo E6013.
- d. 6 garruchas de 100 kg.
- e. Soldadora CENTURY 110/220V.
- f. Máscara para soldar
- g. Martillo pica escoria.
- h. Cepillo de acero.
- i. Lima
- j. Martillo de goma
- k. Esmeriladora angular DeWALT DWE4212 – B3.
- l. 4 discos de corte de acero NORTON 4 1/2 x 1/16 x 7/8.
- m. 1 discos de desbaste DeWALT 4 1/2 x 1/4 x 7/8.
- n. 2 discos de zirconio laminados (pulido) de 4 1/2 60.
- o. Escuadra.
- p. Flexómetro.
- q. Marcador para acero.
- r. Soga.
- s. 1 litro de pintura esmalte color negro brillante.

- t. 1 litro de diluyente de pintura.
- u. Compresor.
- v. Pistola HVLP para pintar.
- w. Guaípe.
- x. 1 plancha de Alucubond.
- y. Cutter industrial.
- z. 1 cartucho de silicona ABRO transparente



Figura 28. Materiales [Fuente propia]



Figura 29. Soldadora CENTURY MIG 250. [Fuente propia]

2.8.2. Procedimiento

Para la construcción de la estructura de deberá considerar el estado de la materia prima previo al inicio del mecanizado, por tanto, es importante limpiar la materia prima de cualquier tipo de residuos o grasas con el diluyente de pintura y el guaípe. Una vez limpios los perfiles estructurales se procede a marcar cada uno de ellos según las dimensiones especificadas en los planos de la estructura, considerando que las uniones entre los elementos del marco de la estructura serán a 45° y los elementos sobre los que asentarán los equipos se soldarán al marco con uniones a 90° , para ello se debe realizar procesos de corte repetitivos siguiendo los requerimientos de elementos previamente dimensionados, es necesario que los bordes resultantes del proceso de corte sean desbastados y pulidos, consiguiendo así un acabado que permita ensamblar cada elemento de mejor manera.

Una vez se obtengan todos los elementos según las especificaciones del plano, se procede a realizar un proceso de soldadura tipo SMAW con electrodo E6013 en las uniones a 45° , estos elementos se obtendrán del perfil estructural 50x25x1.5 mm. Durante este primer proceso de soldadura se realizará el armado del marco de la base, mesa de soporte y panel de control, pues a medida que se ensamblen los elementos se deberá cuadrar los mismo tomando las medidas diagonales como referencia, procurando que ambas medidas sean iguales, asegurando a su vez que se encuentre bien ensamblado. De ser necesario la reducción las dimensiones en uno de los extremos se usará la soga para templar estos puntos a fin de obtener las dimensiones requeridas. Estas dimensiones se ven definidas en la Figura 30.

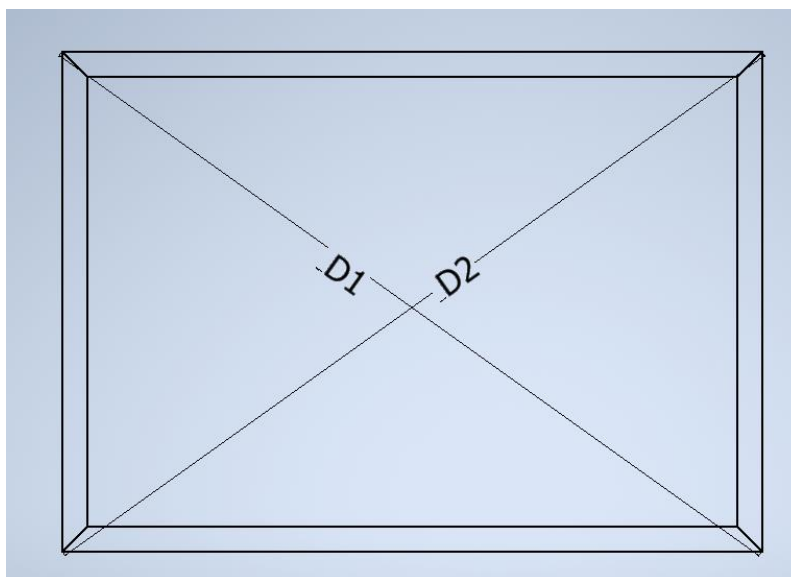


Figura 30. Diagonales del marco base, $D1 = D2$ [Fuente propia]

Una vez ensamblados los marcos de la base, mesa de soporte y panel de control, se procederá a elaborar el mallado interno que cargará todos los sistemas que conforman el equipo, este mallado se realizará en su totalidad perpendicular al marco previamente construido, estos elementos se obtendrán del perfil estructural 40x20x1.5 mm y las dimensiones que se deberán medir para verificar el correcto ensamblaje se incluyen en el plano de la estructura. Para la mesa de soporte el mallado contendrá únicamente 2 elementos, al igual que el panel de control, pues las cargas que han de soportar no son representativas en la estructura.

Es importante considerar que previo a la ejecución del proceso de soldadura se deberán limpiar los elementos, al igual que después de terminar el proceso, para ellos se usará el martillo pica escoria y el cepillo de acero.

Para asegurar que los ángulos del ensamble sean los adecuados se usa la escuadra, que permitirá observar claramente si existe algún tipo de desviación entre los elementos.

Una vez ensamblada la estructura en su totalidad según se muestra en la Figura 31, se procederá a realizar el ensamble de las garruchas, mediante el proceso de soldadura SMAW, considerando que la ubicación de estos elementos se ve representada en la simulación como apoyos fijos.

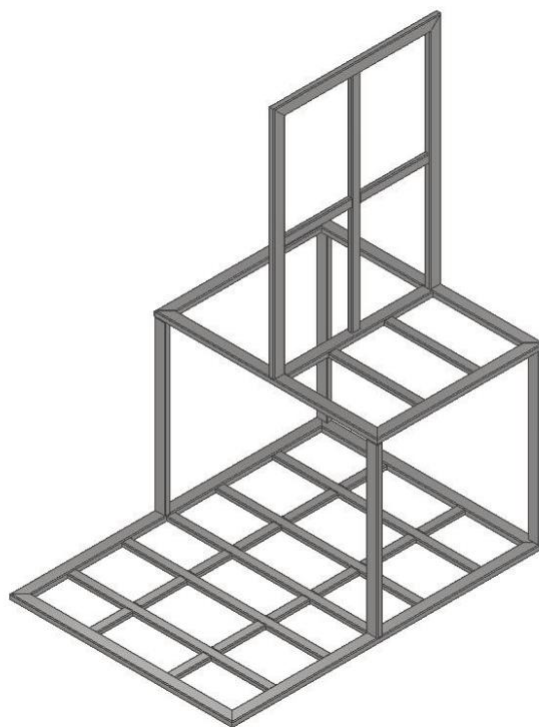


Figura 31. Ensamble de la estructura con los elementos definidos. [Fuente propia]

Con la estructura móvil ensamblada, se realizará un proceso de recubrimiento, en este caso, se hará uso de pintura anticorrosiva tipo esmalte, pues el ambiente al que está expuesta la estructura no será aislado en su totalidad. Se procederá entonces a realizar una mezcla 90% - 10% de pintura tipo esmalte con diluyente en el depósito de la pistola HVLP que se muestra en la Figura 32. Con la mezcla previamente elaborada y habiendo limpiado la estructura de cualquier impureza, se conectará la pistola al compresor mostrado en la Figura 33 y se empezará a recubrir el esqueleto con la mezcla. Es recomendable aplicar 2 capas de pintura sobre la estructura debido a que la uniformidad del acabado puede verse afectado por posibles capas delegadas que se pudieron haber generado en zonas específicas, además, la durabilidad y la protección aumentan a medida que el espesor del recubrimiento también lo hace.



Figura 32. Pistola HVLP para pintura. [Fuente propia]



Figura 33. Compresor HWT 100 LTS. [Fuente propia]

Para cubrir los espacios mallados de la estructura se hará uso de paneles dimensionados de Alucubond, un compuesto ligero y resistente que se conforma por láminas de aluminio delgadas que se entrelazan con un núcleo plástico, que da como resultado un material con altas propiedades de rigidez a la flexión, bajo peso y alta versatilidad y durabilidad.

2.9. Montaje del banco de pruebas, estructura y sistemas de almacenamiento, calentamiento y distribución de agua caliente sanitaria.

Para el montaje del equipo se deberá considerar la distribución final de los sistemas según se estableció en los requerimientos, considerando que pueden existir variaciones en dicha distribución debido a las posteriores adecuaciones que requiera el equipo, en este caso el montaje se lo realizará en las instalaciones del CEPUR, donde se verificará también su funcionalidad como se menciona a continuación. Posterior al montaje se deberá realizar una validación estructural preliminar antes de verificar la funcionalidad en carga operativa, esta inspección será de tiempo visual, donde se buscará agrietamientos, deformaciones o fallas visibles que puedan poner en riesgo la integridad del equipo.

2.10. Proceso de verificación

Para la realización del proceso de validación del equipo, se realizarán ciclos de operación del sistema en conjunto, desde el llenado del tanque de almacenamiento, hasta el calentamiento a una temperatura determinada del fluido almacenado mediante el uso de la bomba de calor. El tiempo de operación estimado para el sistema es de 90 minutos.

2.10.1. Pruebas de estabilidad de la estructura bajo cargas estáticas y de operación, mediante inspección visual.

Las pruebas de estabilidad mediante inspección visual de la estructura del banco de pruebas considerarán 5 puntos de evaluación.

- Deformaciones: los pandeos sobre el marco o mallado de la base, visibles al ojo del inspector, provocarán el descarte de la estructura frente a cargas de trabajo, inhabilitándola para su uso.
- Juntas: Se deberá prestar atención a las juntas entre los elementos buscando detectar fracturas o daños visibles entre elementos estructurales.

- **Materiales:** El deterioro visible de la estructura o desprendimiento de material producto de fenómenos corrosivos darán como resultado la invalidación del equipo.
- **Agrietamientos:** Es importante detectar fisuras o grietas en los elementos estructurales que puedan dar como resulta una perdida en la estabilidad del equipo.

Del resultado de esta inspección se desarrollará un corto informe que acredite la estabilidad estructural, verificando a su vez la validez de la simulación, donde se establece una deformación máxima permisible para el tipo de materiales seleccionados.

2.10.2. Pruebas de fugas en operación sobre el sistema de almacenamiento, calentamiento y distribución de agua caliente sanitaria.

Con la estabilidad de la estructura, bajo las cargas operativas, verificada, se asegurará también el correcto funcionamiento del sistema de calentamiento de agua, mediante pruebas de fugas en los sistemas de almacenamiento, calentamiento y distribución de agua caliente.

Esta inspección se desarrollará considerando una metodología de inspección visual, que se enfoca en la búsqueda de fugas, como goteos visibles en el sistema, zonas húmedas o zonas con indicios de corrosión debido a acumulación de agua. Este tipo de prueba se realizará con el sistema en operación, con una carga de trabajo a condiciones normales.

Se recomienda que durante la realización de las pruebas de fugas se preste especial atención a los accesorios que conforman el sistema, como codos, extensiones o válvulas.

Para este tipo de pruebas se puede hacer uso de una mezcla de agua y jabón, que permitirá observar fugas de presión sin necesidad que escape fluido del sistema. Este recurso ayudará también a validar la estanqueidad del equipo en referencia a la presión que es capaz de almacenar.

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

3.1. Resultados

3.1.1. Dimensionamiento estructural

Del establecimiento de los requerimientos preliminares para la construcción del banco de pruebas se determinó que la carga total que deberá soportar la estructura es de 2272.98 [N] distribuida en un área de 1.4 x 1 [m²]. En la Figura 34 se muestra la simulación de estas cargas según la distribución predefinida.

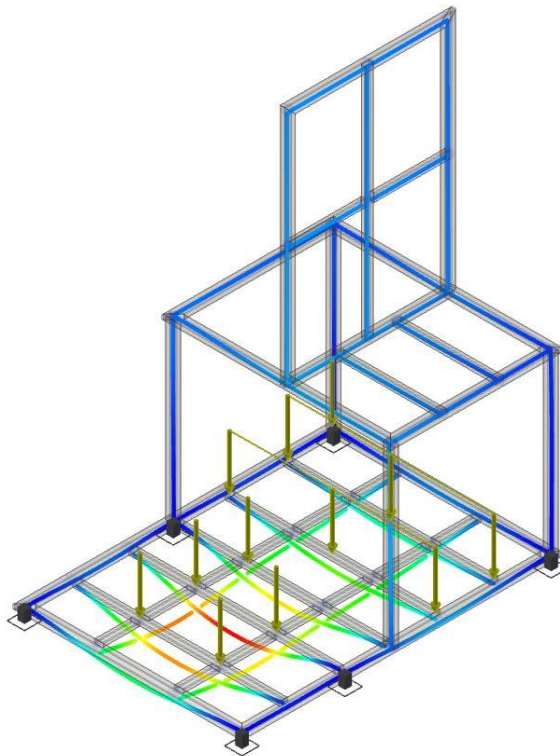


Figura 34. Cargas simuladas [Fuente propia]

Se observa entonces que a pesar de las deformaciones que se generan a lo largo de toda la estructura, existe un elemento particular que sufre el mayor desplazamiento, es este elemento el seleccionado para el estudio.

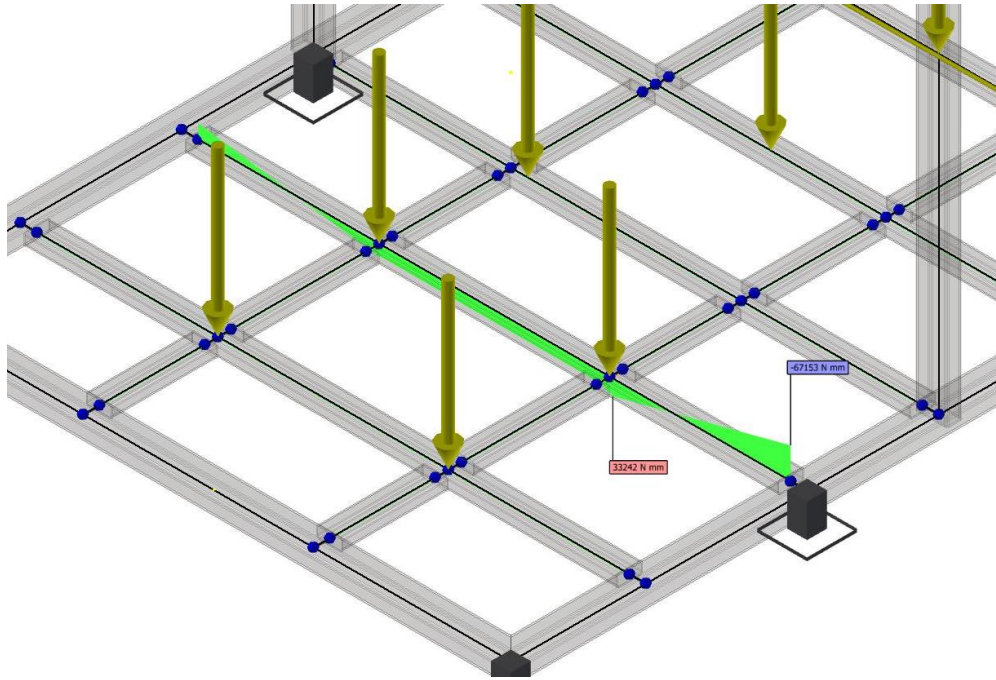


Figura 35. Momento flector para el elemento crítico

El elemento determinado para el análisis se ubica bajo el tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 35, para este desarrollo se han evaluado las características y valores obtenidos únicamente del miembro crítico, considerando que los demás elementos que componen la estructura no llegarán a trabajar a estas condiciones y por tanto estarán correctamente dimensionados. Entonces se obtuvo que:

- $M_{\max} = 67153 \text{ [N mm]}$

Con este valor definido, se determinó el módulo de la sección mediante la Ecuación 4, bajo los siguientes parámetros previamente establecidos:

- $\sigma_y = 250 \text{ [MPa]}$ para el acero A36 definido como material de fabricación.
- $FS = 2$ para estructuras estáticas.

Por lo tanto

$$S \geq \frac{M_{\max} * FS}{\sigma_y}$$

$$S \geq 537.224 \text{ [mm}^3\text{]}$$

Se tomó en cuenta que los elementos que conforman el mallado interno donde asientan los sistemas deberán ser al menos 3 mm menor en una de sus dimensiones en

comparación a los elementos que conforman el marco, debido a la sección que se requiere para la instalación del Alucubond.

Se consideró también que el equipo puede llegar a encontrarse bajo cargas inusuales y debido a que no existe un tubo de sección rectangular S calculada, se seleccionaron los siguientes elementos.

- Tubo rectangular de 20x40x1.5 mm ($S = 1630 \text{ [mm}^3\text{]}$) para el mallado interno.
- Tubo rectangular de 25x50x1.5 mm ($S = 2660 \text{ [mm}^3\text{]}$) para los marcos de la base, mesa y panel de control.

Habiendo definido los materiales de construcción de la estructura, se realizó la selección de las garruchas, tomando en cuenta que:

- Deberán soportar la carga generada por el peso de la estructura y los sistemas en conjunto.
- Serán 6 elementos entre los que se distribuirá la carga.

Con la Ecuación 5 se determina entonces que:

$$\text{Capacidad}_{\text{garruchas}} \geq \frac{2272.98 \text{ [N]} + \left\{ \left[\left(18\text{m} * 1.65 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) + \left(12\text{m} * 1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) \right] * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right\}}{6}$$

$$\text{Capacidad}_{\text{garruchas}} \geq \frac{2272.98 \text{ [N]} + 444.39 \text{ [N]}}{6}$$

$$\text{Capacidad}_{\text{garruchas}} \geq 452.89 \text{ [N]}$$

Por lo tanto, se seleccionaron garruchas con una capacidad de carga de 981[N] o 100 [kg].

3.1.2. Análisis de estabilidad mediante simulación

Con los elementos previamente seleccionados, se ejecutó la simulación de la estructura sometida a las cargas producto del peso generado por el equipo, donde se evidenció que el desplazamiento o deformación máxima que ocurre en la estructura es menor a 0.5674 [mm], lo que no representa un riesgo crítico para la operación del equipo. Esta simulación se presenta en la Figura 36.

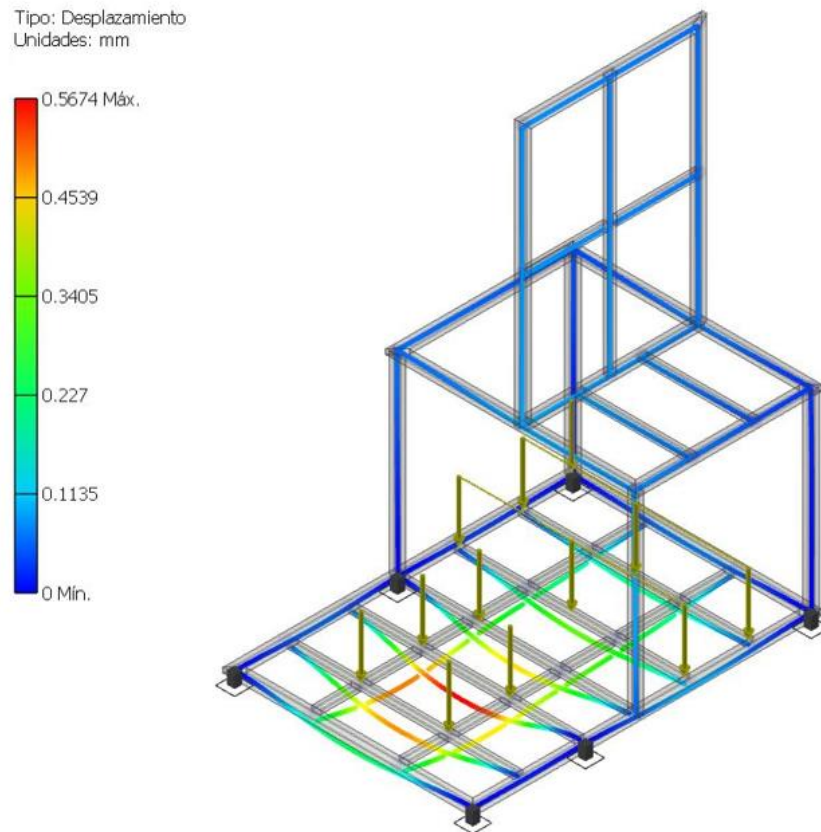


Figura 36. Análisis de la estructura por medio de simulación [Fuente propia]

3.1.3. Análisis de costos

Según la metodología descrita en la sección 2.7 del presente desarrollo, se establecieron 7 costos a considerar para la construcción del equipo para calentamiento de agua de uso doméstico, los sistemas de calentamiento, almacenamiento y distribución de agua caliente fueron entregados para el desarrollo del proyecto, por lo que sus valores serán considerados como elementos normalizados. Se desarrolló entonces la Tabla 2 de costos del equipo, haciendo uso de proformas de cotización donde se refleja el costo actual de la materia prima en el mercado y de la Ecuación 6, Ecuación 7, Ecuación 8, Ecuación 9, Ecuación 10, Ecuación 11.

Tabla 2. Análisis de costos. [Fuente propia]

Tipo	Descripción	Unidad	Cantidad	Valor unitario [USD]	Total [USD]
Costo de elementos normalizados	Bomba KF07-x y tanque de almacenamiento	Unidad	1	1466,36	1466,36
	Bomba de recirculación Leo LRP	Unidad	1	90	90
SUBTOTAL 1					1556,36
Costo de materia prima	Tubo rectangular 25x50x1,5	Unidad	3	12,87	38,61
	Tubo rectangular 20x40x1,5	Unidad	2	10,09	20,18
	AGA 1/8 E6013	Kg	2	6,52	13,04
	Disco de corte Norton 4 1/2 x 1/16 x 7/8	Unidad	4	1,22	4,88
	Disco de desbaste DeWALT Norton 4 1/2 x 1/4 x 7/8	Unidad	1	1,07	1,07
	Disco flap SIEA 4 1/2 60	Unidad	2	1,61	3,22
	Silicona ABRO cartucho clear transparente	Unidad	1	2,17	2,17
	Duracolor esmalte negro LT	Litro	1	3,3	3,3
	Tiner Laca	Galon	0,25	4,78	1,195
	Cutter industrial	Unidad	1	3,33	3,33
	Plancha de Alucubond	Unidad	1	19,69	19,69
	Garrucha 3" 100 Kg	Unidad	6	3,92	23,52
SUBTOTAL 2					134,205
Costos de fabricación	Operaciones con esmeriladora angular	Hora	2	6	12
	Soldadura tipo SMAW	Hora	5	10	50
SUBTOTAL 3					62
Costos de diseño	$C_D = (C_E + C_{MP} + C_F) * U$ $U = 15\%$	-	-	-	262,88
Costos de montaje	$C_M = (C_E + C_{MP} + C_F) * M$ $M = 10\%$	-	-	-	175,26
Costos indirectos	$C_I = (C_E + C_{MP} + C_F) * I$ $I = 10\%$	-	-	-	175,26
Costos imprevistos	$C_{IM} = (C_E + C_{MP} + C_F) * IM$ $IM = 5\%$	-	-	-	87,63
TOTAL					2453,59

3.1.4. Construcción del banco de pruebas

Como resultado del proceso constructivo se obtuvo la estructura y el montaje de los sistemas que conforman el banco de pruebas para calentado de agua de uso doméstico. Se presenta en la Figura 37 y Figura 38 el equipo implementado, y sobre este equipo se desarrollaron las pruebas estabilidad y fugas.

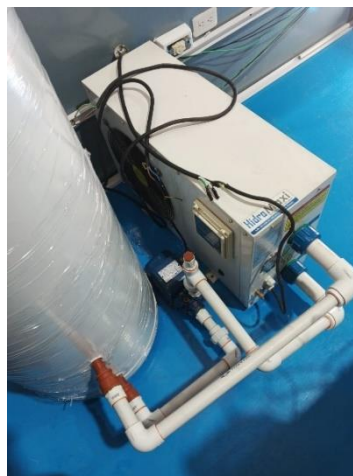


Figura 37. Implementación del sistema de calentamiento de agua. [Fuente propia]



Figura 38. Montaje de la estructura y equipo de calentamiento de agua. [Fuente propia]

3.1.5. Pruebas de estabilidad

Una inspección visual detallada de toda la estructura del banco de pruebas se realizó con el propósito de verificar el estado general del equipo y aprobarla para su uso en las operaciones previstas de acondicionamiento de agua. El objetivo de la revisión fue detectar posibles o potenciales deformaciones, puntos de inicio de desgaste y cualquier otro factor que pueda disminuir la integridad estructural. De este análisis visual se obtuvieron los siguientes resultados:

- Estabilidad a cargas operacionales: se observó que no existen vibraciones excesivas o desplazamientos no deseados debido al arranque del equipo o debido a factores que se generen durante la operación del sistema, no fueron evidenciados pandeos en los elementos y las juntas soldadas no muestran señales de agrietamientos o fisuras.
- Acabados superficiales: En cuanto al acabado de la estructura, se pudo observar que no existen desprendimientos de las capas de recubrimiento y adicional a esto, no existen puntos donde sea posible el inicio de un proceso corrosivo a corto plazo o mediano plazo.

Habiendo evaluado la estructura de forma visual tanto para cargas estáticas como dinámicas y habiendo comprado su estabilidad en ambos casos, se determinó que la

estructura del equipo se encuentra en excelentes condiciones operativas y por tanto no generará riesgos que comprometan la integridad del equipo didáctico.

3.1.6. Pruebas de fugas

La evaluación del sistema de calentamiento de agua mediante la aplicación de pruebas de fugas se llevó a cabo con el objetivo de verificar la estanqueidad del sistema y por ende su correcta operación, pues el hecho de que existan fugas de agua supone riesgos eléctricos que puede llegar a afectar los sistemas de recolección de datos propios del dispositivo o adicionados a este. De esta evaluación se obtuvo que:

- La estanqueidad del sistema fue verificada después de aproximadamente 2 horas, al no existir rastros visibles de goteos o de secciones húmedas que hubiesen sido producto de pérdida de agua por la operación del sistema.
- Para los accesorios instalados en el sistema se realizó la evaluación con agua y jabón con el propósito de evidenciar sopladuras o fugas en estos elementos, sin embargo, no se observó ningún detalle.

Considerando que se realizó la evaluación por prueba de fugas con metodología visual con el equipo en operación por un intervalo de 2 aproximadamente 2 horas, se determinó que la estanqueidad del sistema es óptima tanto en sus elementos principales como en sus accesorios, lo que asegurará una operación óptima del equipo, sin riesgo de comprometerlo.

3.2. Conclusiones

- Mediante la implementación del flujograma establecido como la base de la metodología se logró desarrollar de forma exitosa el diseño y montaje del banco de pruebas de un sistema de calentamiento de agua para uso doméstico. Considerando el alcance del proyecto para esta sección, se concluye entonces que el equipo es funcional en su totalidad, tomando un tiempo total de 1.5 horas para calentar un volumen de 30 galones de una temperatura de red aproximada de 18 °C hasta los 46°C.
- El dimensionamiento y selección de materiales fue desarrollado acorde a las necesidades de cargas mínimas preexistentes, por lo que no se tuvo sobredimensionamientos el sistema bajo las consideraciones del sistema establecidas por el CEPUR.
- De acuerdo al análisis de costos para la construcción del equipo, desde la adquisición de los sistemas hasta la implementación de estos, sin adaptaciones, tuvo un costo total de 2453.59 USD, en este cálculo fueron incluidos parámetros como costos de diseño o costos operativos que no se alinean a la construcción del equipo, pues este fue elaborado en su totalidad por el estudiante a cargo del desarrollo del proyecto, lo que dio como resultado que el costo constructivo de la estructura fuese de 134.21 USD.
- El costo parcial que representa la mayor cantidad de inversión es la adquisición de los equipos que conforman el sistema de calienta de agua, en este caso llamado costos de elementos normalizados, donde se incluye la bomba de calor, tanque de almacenamiento y bomba de recirculación, con un total de 1556.36 USD.
- A pesar de que la simulación mostraba una deformación menor a 1 mm en los elementos estructurales, durante la puesta en marcha del equipo, no se observó ningún tipo de desplazamiento en los miembros del banco de pruebas, de donde se concluye que la estabilidad del equipo, para operaciones a plena carga y por ende en estado estable, es óptima y no provocará riesgos de comprometer el correcto funcionamiento de este.
- De la hermeticidad del sistema se concluye que en el equipo no se encontraron fugas que dieran como resultado una pérdida en la eficiencia del equipo o que generaran riesgos sobre los sistemas eléctricos, por tanto, el banco de pruebas es completamente funcional previo a las adecuaciones que le permitirán la toma de datos para su uso didáctico.

3.3. Recomendaciones

- Sobre el equipo se recomienda sea desarrollado un plan de mantenimientos que cubra tanto la estabilidad estructural, así como la funcionalidad operativa del banco de pruebas, asegurando que el equipo pueda desarrollar sus actividades sin problemas a mediano o largo plazo.
- Se recomienda elaborar una guía práctica del equipo, donde se incluya el procedimiento adecuado para la operación del sistema de calentamiento de agua.
- Se recomienda que en durante las adaptaciones del banco de pruebas para su uso didáctico se realicen nuevas pruebas de fugas, pues la instrumentación del equipo puede dar como resultado la creación de fugas en estos nuevos elementos.
- Se recomienda no someter al equipo a cargas que puedan comprometer la estabilidad estructural del mismo, como pesos que no hayan sido considerados en el diseño del equipo u otros factores externos.
- Se recomienda también realizar pruebas de operación a condiciones iniciales con el propósito de determinar mejoras en el diseño o distribución del banco de pruebas, acerca de los sistemas.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] F. Eze, M. Egbo, U. J. Anuta, O.-B. R. Ntiriwaa, J. Ogola, y J. Mwabora, “A review on solar water heating technology: Impacts of parameters and techno-economic studies”, *Bulletin of the National Research Centre*, vol. 48, núm. 1, p. 29, mar. 2024, doi: 10.1186/s42269-024-01187-1.
- [2] “¿Qué es la calefacción solar y cómo funciona? - SotySolar”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://sotysolar.es/blog/calefaccion-solar>
- [3] “[Hot Item] ¿Qué es el sistema solar de agua caliente?, Fabricante, Fábrica”, *es.solarcollector.onosisolar.com*. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://es.solarcollector.onosisolar.com/what-is-solar-hot-water-system_3.html
- [4] N. V. Ogueke, E. E. Anyanwu, y O. V. Ekechukwu, “A review of solar water heating systems”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 1, núm. 4, p. 043106, jul. 2009, doi: 10.1063/1.3167285.
- [5] “(PDF) The role of phase change materials for the sustainable energy”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309221529_The_role_of_phase_change_materials_for_the_sustainable_energy
- [6] TecnaAD, “Calentadores de agua eléctricos instantáneos TECNA CLAGE: funcionamiento, ventajas y modelos”, Tecna. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://teca.es/calentadores-de-agua-electricos-instantaneos-tecna-clage/>
- [7] “Sistemas de Agua Caliente: Eficiencia y Calidad | Intelservice”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.intelservice.com.co/sistema-de-agua-caliente/>
- [8] S. Wingfield, A. Martínez Moscoso, D. Quiroga, y V. Ochoa-Herrera, “Challenges to Water Management in Ecuador: Legal Authorization, Quality Parameters, and Socio-Political Responses”, *Water*, vol. 13, p. 1017, abr. 2021, doi: 10.3390/w13081017.
- [9] A. E. de M. Ambiente, “Infografía: uso del agua en los hogares | Noticias Ambientales | España”, *CienciasAmbientales.com*. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/infografia-senales-uso-agua-hogares-17122>
- [10] O. Zapata, “Understanding consumption and residential uses of water at the household level in Quito, Ecuador”, *Working Papers*, Art. núm. 201121, 2011, Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://ideas.repec.org/p/lae/wpaper/201121.html>
- [11] D. B. Boman, A. W. Raymond, y S. Garimella, *Adsorption Heat Pumps: Fundamentals and Applications*. en *Mechanical Engineering Series*. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-72180-0.
- [12] P. Espiñeira, “Bomba de calor hoy ▷ Funcionamiento e implantación para calefacción y ACS - caloryfrio.com”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En

- línea]. Disponible en: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/bomba-de-calor.html>
- [13] R. Duan, “Study on Performance of Air Source Heat Pump Water Heater”, *Advanced Materials Research*, vol. 608–609, pp. 987–993, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.608-609.987.
- [14] “Todo sobre la Bomba de Calor”, *Bomba de Calor*. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.bombadecalor.org/>
- [15] J. J. Guo, J. Y. Wu, R. Z. Wang, y S. Li, “Experimental research and operation optimization of an air-source heat pump water heater”, *Applied Energy*, vol. 88, núm. 11, pp. 4128–4138, nov. 2011, doi: 10.1016/j.apenergy.2011.04.012.
- [16] M. Manga et al., “The effect of household storage tanks/vessels and user practices on the quality of water: a systematic review of literature”, *Environmental Systems Research*, vol. 10, núm. 1, p. 18, feb. 2021, doi: 10.1186/s40068-021-00221-9.
- [17] “El caudal de los embalses de Mazar y Paute rompió el récord de 2024 - El Comercio”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/caudal-embalses-mazar-paute-rompio-record.html>
- [18] “Conoce cómo funciona un sistema de captación de agua - Rotoplas Centroamérica”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rotoplascentroamerica.com/conoce-como-funciona-un-sistema-de-captacion-de-agua/>
- [19] rotoplasmx web, “¿Qué es una cisterna y para qué sirve?”, *Rotoplas Centroamérica*. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://rotoplascentroamerica.com/que-es-una-cisterna/>
- [20] “Flexible Water Distribution System Design under Future Demand Uncertainty | Request PDF”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/273747041_Flexible_Water_Distribution_System_Design_under_Future_Demand_Uncertainty
- [21] “Sistema de recirculación de agua caliente Astro 2 | Armstrong Fluid Technology”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://armstrongfluidtechnology.com/es-us/products/astro-2-hot-water-recirculation-system>
- [22] “Optimization of Water Distribution Systems Using Genetic Algorithms: A Review | Archives of Computational Methods in Engineering”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11831-023-09944-7>
- [23] “Importancia de la velocidad de la bomba de circulación en calefacción”. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.suner.es/velocidad-bomba-circulacion-calefaccion>
- [24] M. Colombia Ingeniería y Construcción MIC SAS Bogotá, “Construcción en acero y montaje de estructuras metálicas”, <https://www.estructurasmetalicascolombia.com>. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/>

- [25] "Tipos de uniones estructurales mecánicas en ingeniería". Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.structuralia.com/uniones>
- [26] "MECAPEDIA • Unión roscada". Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.mecapedia.uji.es/pages/union_roscada.html
- [27] "Homologación soldador MIG aluminio | Blog SEAS". Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.seas.es/blog/produccion-mantenimiento/homologacion-soldador-mig-aluminio/>
- [28] flexilatina, "Elementos de fijación en el montaje de uniones bridadas", Flexilatina de Colombia. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://flexilatina.com/elementos-de-fijacion-en-el-montaje-de-uniones-bridadas/>
- [29] "Acoples de compresión: qué son, tipos y aplicaciones". Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://grupohidraulica.com/noticias/2022/06/27/acoples-compresion-que-son-tipos-y-aplicaciones/>
- [30] "Banco de pruebas | Vickers Hydraulics". Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://vickers-hydraulics.com.mx/blog/banco-de-pruebas/>
- [31] Mtorres, "Bancos de prueba", EIDE. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://eide.net/bancos-de-prueba/>
- [32] W. M. Bermudez Moreira, "Construcción de un banco de prueba para los inyectores del motor Allison 250-C20J (BELL- 206)", bachelorThesis, Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico. ITSA. Carrera de Tecnología en Mecánica Aeronáutica, 2006. Consultado: el 15 de marzo de 2024. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/28438>
- [33] Velastegui, T, Sarmiento, E, "Producción por virutaje", Primera. Quito- Ecuador, 2015.

5. ANEXOS

ANEXO I. Ficha técnica Bomba de Calor KF70-X.

ANEXO II. Ficha técnica Bomba de recirculación LEO.

ANEXO III. Ficha técnica de tubo rectangular.

ANEXO IV. Proformas de materia prima.

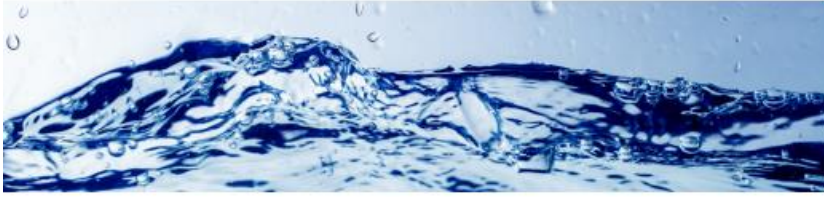
ANEXO V. Evidencias de construcción.

ANEXO VI. Planos.

ANEXO I

Model Number		KF70-X	KF100-X	KF140-X	KF200-X
Refrigerant		R410A			
Compressor Brand		Panasonic /Rotary			
Testing Condition		1. Dry-bulb temperature 20°C 2. Wet-bulb temperature 15°C 3. Water temp. rises 40°C.			
Features		1. Environment Temp. for Working: -5°C to 40 °C 2. Max. Water Outlet Temp.: 60°C 3. Interior WILO Brand Circular Water Pump			
Rated Heat Production Capacity	kW	3.25	4.64	6.5	9.28
	BTU/h	11100	15800	22100	31600
Rated Outlet Water Temp.	°C	55			
Max. Outlet Water Temp	°C	60			
Rated Water Heating Capacity	L/h	70	100	140	200
Rated Input	kW	0.86	1.22	1.71	2.45
Rated Working Current	A	3.88	5.55	7.77	11
COP	W/W	3.8	3.8	3.8	3.8
Power Supply	V/PH/Hz	220~240V/1PH/50Hz			
Compressor QTY	Unit	1			
Fan QTY	Unit	1			
Noise	dB(A)	55			
Water Inlet/Outlet Diameter	Inch	G3/4"			
Circulation Pump		Built-In Circulation Pump			
Water-Refrigerant Heat Exchanger		Copper Pipe in Steel case Heat Exchange			
Outline Dimension	L×W×H (mm)	750X300X510	930X360X560		1000X370X630
Packing Dimension	L×W×H (mm)	835X330X520	1045X375X570		1115X375X640
Net Weight	kg	38	50	55	70
Gross Weight	kg	40	53	58	74

ANEXO II



Bombas de recirculación

Bomba LRP15-90A/160

Bomba de recirculación

- Bombas para aguas limpias
- Ideal para sistemas centralizados de agua caliente y/o calefón
- Temperatura máxima del líquido 100 °C
- Uso doméstico



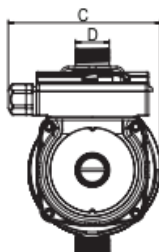
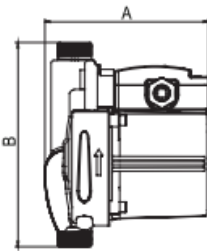
Cod.: LRP15-90

Modelo	Potencia	Voltaje	Boca	Flujo máx.	Altura máx.	Succión máx.
LRP15-90A/160	123 W	110 V	1" X 1"	25 L/MIN	9 Mts	-

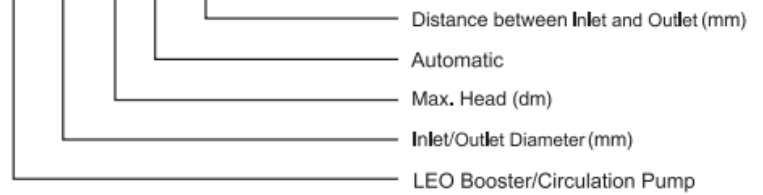


Bombas | Hidrosistemas | Jardinería

7



LRP 15 - 90 A / 160

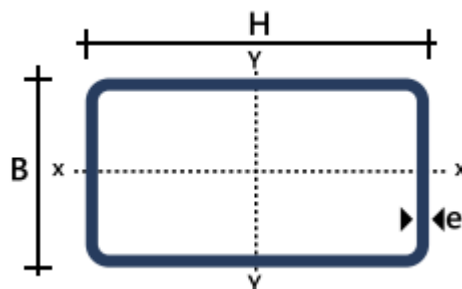


MODEL	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D
LRP15-90A/160	129	160	120	G ^{3/4}

ANEXO III

Especificaciones Generales:

Largo Normal:	6 metros
Recubrimiento:	Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:	ASTM A500 Gr. A, B o C
Norma de Fabricación:	NTE INEN 2415
Espesores:	Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:	Otras dimensiones y largos, previa consulta



Tubería Estructural Rectangular										
Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas					
					Eje x - x			Eje y - y		
					Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	30	1,50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79
		2,00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77
20	40	1,40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82
		1,50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82
		1,80	1,95	1,53	3,76	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80
		2,00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79
25	50	1,40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04
		1,50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04
		1,80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02
		2,00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01
		2,50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99
		3,00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97
30	50	1,40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24
		1,50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,28	1,23
		1,80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22

ANEXO IV



PROFORMA
No: 000006389

Av Mariscal Sucre S1435 y Quichuas
Telf: 2 625 001 / 2 626 906 / 0999 81 46 07

RUC: 1706927124001

CLIENTE CONSUMIDOR FINAL
OBSERVACIÓN

RUC 9999999999999
FECHA

CANTIDAD	UND	DESCRIPCIÓN	PRECIO	TOTAL	precio individual.IVA
1.00	UNIDAD	TUBO RECT. 25 X 50 X 1.5	12.87	12.87	14.80
1.00	UNIDAD	TUBO RECT. 20 X 40 X 1.5	10.09	10.09	11.60
1.00	KG	AGA 1/8 6013	6.52	6.52	7.50
1.00	UNIDAD	DISCO CORTE NORTON 4 1/2 X 1/16 X 7/8	1.22	1.22	1.40
1.00	UNIDAD	DISCO DESBASTE DEWALT NEGRO 4 1/2 X 1/4 X 7/8	1.07	1.07	1.23
1.00	UNIDAD	DISCO FLAP SIEA 4 1/2 60	1.61	1.61	1.85
1.00	UNIDAD	SILICON ABRO CARTUCHO CLEAR TRANSPARENTE	2.17	2.17	2.50
1.00	LITRO	DURACOLOR ESMALTE NEGRO LT	3.30	3.30	3.80
0.25	GALON	TINER LACA	4.78	1.20	5.50
			BASE 0%	0.00	
			BASE 15%	40.05	
			SUBTOTAL	40.05	
			IVA	6.01	
			TOTAL	46.06	

Usuario:
ADMIN

PATRICIA LOPEZ

Vendedor

Revisado por



IMPORTADORA IMMAKA S.A.

Dirección matriz: LA AURORA (SATÉLITE) ALFREDO ADUM MZ -71 SL 3

Dir Sucursal CALLE QUIMIAG OE-371 QUITO SUR

Telefonos: 042103803 - 2103718

OBLIGADO A LLEVAR CONTABILIDAD: SI

Agente de Retención según resolución No. NAC-DNCRASC20-000001

R.U.C.: 0992394803001

F A C T U R A No. 006-001-000008525

NÚMERO DE AUTORIZACIÓN

240620240109923948030012006001000008525000852513

FECHA Y HORA DE AUTORIZACION: 24/06/2024 03:47:29p.m.

AMBIENTE: PRODUCCIÓN

EMISION: NORMAL

CLAVE DE ACCESO



240620240109923948030012006001000008525000852513

INFORMACION DEL CLIENTE	
Razón Social / Nombres y Apellidos:	
Ruc:	
Dirección:	
Fecha Emisión:	Pedido de Venta:

Cod. Principal	Cant.	Descripción	Precio Unitario	Descuento	Precio Total
P1C16	1.00	ALUMJIREH 1C-801 SILVER 122X244X3MM	19.69	\$2.36	17.33

Dirección:	CALLE QUIMIAG OE-371 QUITO SUR		
Información Adicional			
Ubicación:			
Teléfonos:			
Email:			
Observación:			
Peso Total:	11.22	Vendedor:	LEYDI SUQUI
Forma de Pago:	CONTADO	Bodega:	QUITO SUR

SUBTOTAL 15 %	17.33 \$
SUBTOTAL 0%	0.00
SUBTOTAL No Objeto de IVA	0.00
SUBTOTAL EXENTO DE IVA	0.00
SUBTOTAL SIN IMPUESTOS	17.33 \$
TOTAL DESCUENTOS	2.36
ICE	0.00
IVA 15 %	2.60
IRBPNR	0.00
PROPINA	0.00
VALOR TOTAL	\$ 19.93

Forma de Pago	Total	Plazo
OTROS CON UTILIZACION DEL SISTEMA FINANCIERO	19.93	0Dias

SU AHORRO TOTAL ES :
2.36

COMERCIAL KYWI S.A.
 RUC 1790041220001
 GRAN CONTRIBUYENTE
 NAC-GCFOIOC21-00000899-E
 CONTRIBUYENTE ESPECIAL-RESOL. SRI 5368
 AGENCIA 02 (EL RECREO)
 Sucursal : AV. PEDRO MALDONADO S11-122 Y
 BALCONES DEL RECREO
 Telf: 022655260 022657268 QUITO
 FACTURA ELECTRONICA N. 002-903-000542634
 S-220

Sr(s). CARLOS NARANJO
 Obs/Proy ESCUELA POLITECTICA NACIONAL
 Cliente: 888885-000000
 Id : 1716863400
 Direc : QUITO
 Telf : 002405476 QUITO
 Fecha de Emision : 07/FEB/2024 15:31:38
 Vend: VENTAS ALMACEN

0000000000000
 GARRUCHA 3" 100KG PVC/PU.PG.B.P
 189820 3,928571 6 23,57
 7501206683804
 BISTURI 5" TRUPER PROFESIONAL
 668591 3,339286 1 3,34

SUBTOTAL	26,91
DESCUENTO Tarifa 12%	0,00
DESCUENTO Tarifa 0%	0,00
TOTAL SIN IVA	26,91
Vta.tarifa 12%	26,91
Vta.tarifa 0%	0,00
Total Vta.Neta	26,91
+ IVA Tar. 12%	3,23
TOTAL A PAGAR	30,14

IVA BIENES	3,23
IVA SERVICIOS	0,00

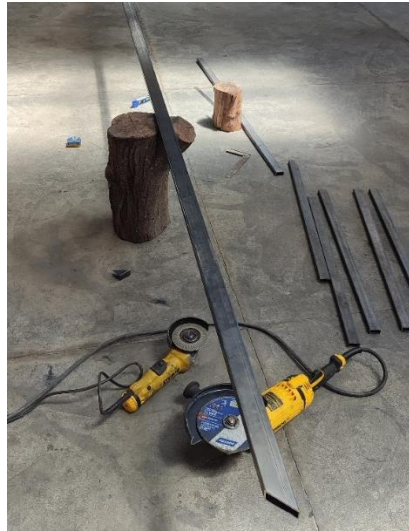
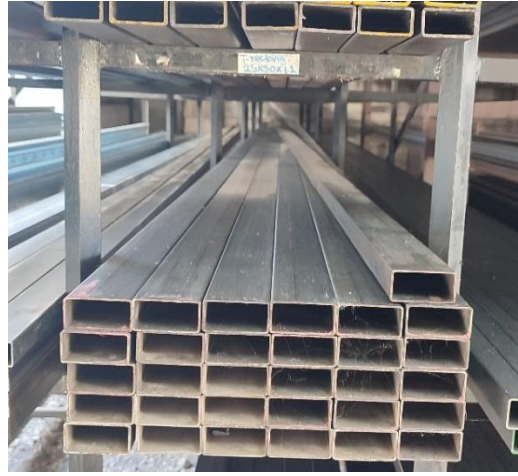
Forma de Pago:
 VP 3 PAGOS R: 23142 30,14

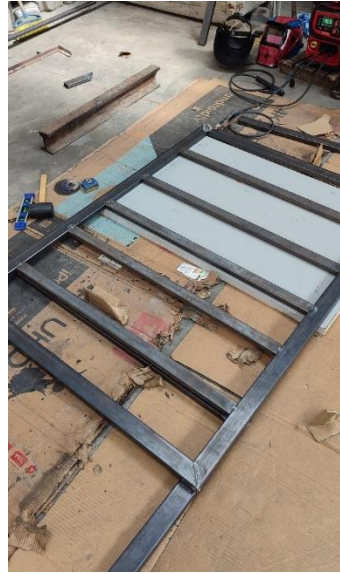
ORDEN: Ident: 1/22/0380/01

Estimado cliente:
 Le invitamos a visitar nuestra tienda en
 linea: <https://kywitiendaenlinea.com/>
 Consulte sus facturas electronicas de
 C O M E R C I A L K Y W I S . A . en
www.kywi.com.ec/facturacion-electronica
 o ingresando a la pagina web del SRI con
 Clave de Acceso SRI 0702202401179004122
 000120029030005426341790041218
 Facturacion Electronica al 02-3987-970

 PARA INFORMACION Y CONSULTAS
 CONTACTENOS AL 1700-150-150
 Lunes a Sabado de 08h00 a 20h00
 Domingos y feriados de 10h00 a 19h00***
 ***** www.kywi.com.ec *****

ANEXO V







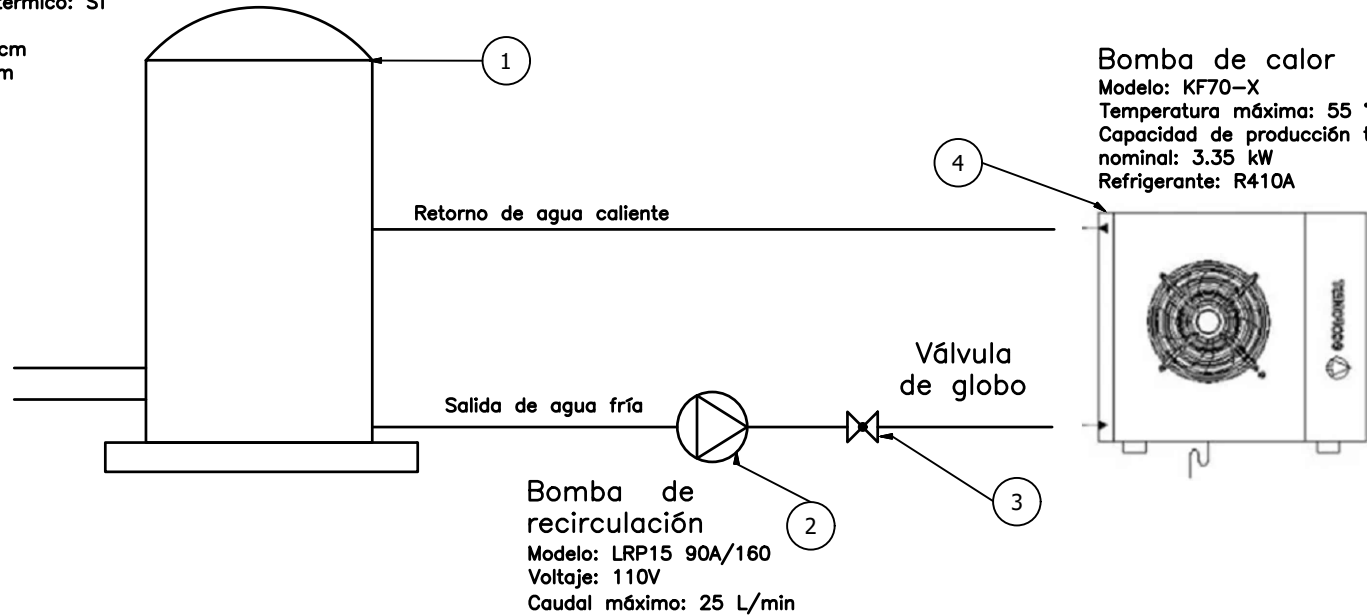
ANEXO VI

Tanque de almacenamiento

Capacidad: 30 Galones
 Recubrimiento térmico: Sí
 Dimensiones:
 Diámetro 45 cm
 Altura: 110 cm

Alimentación de red
 Temperatura: 15 °C

Salida de agua, purga



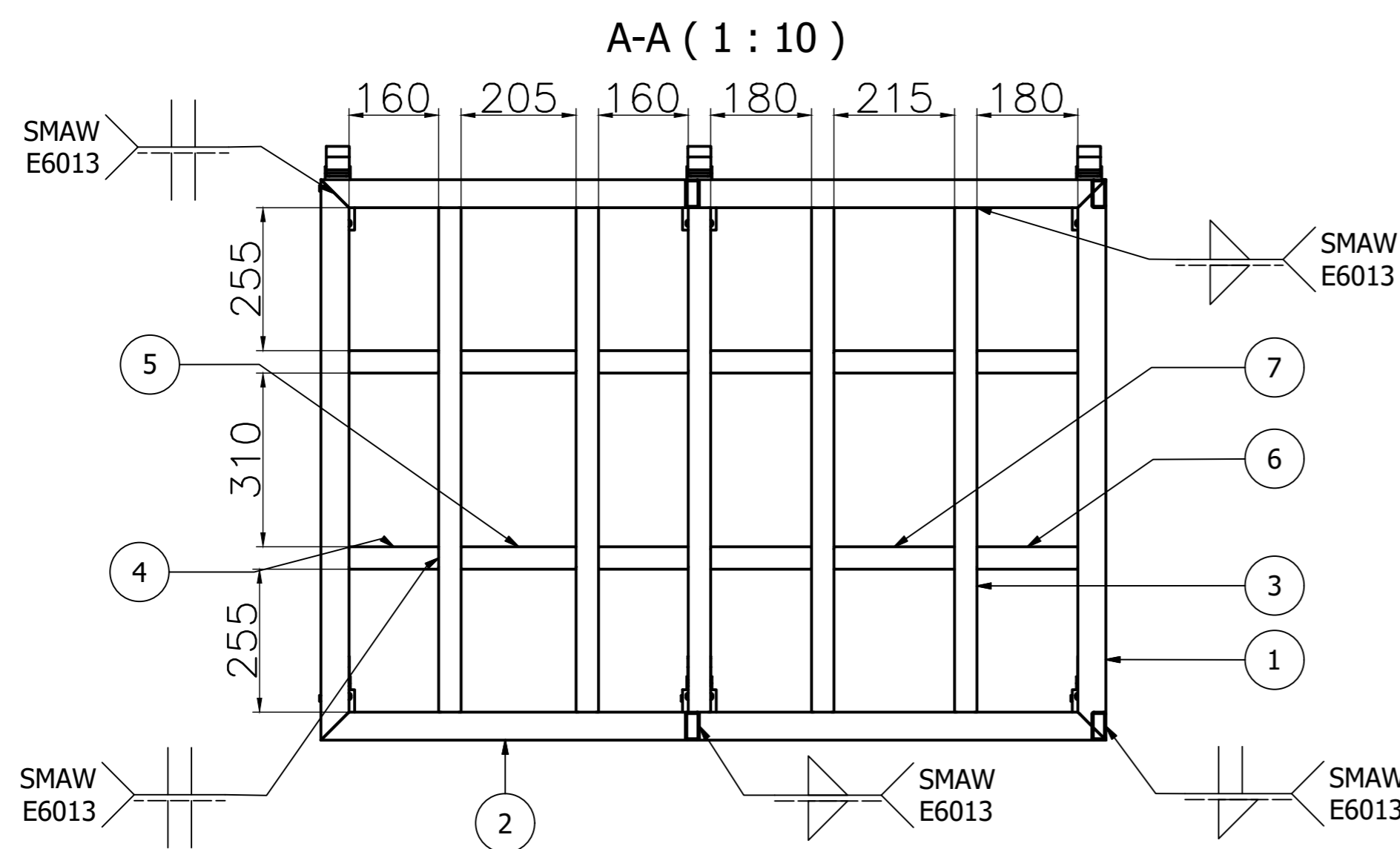
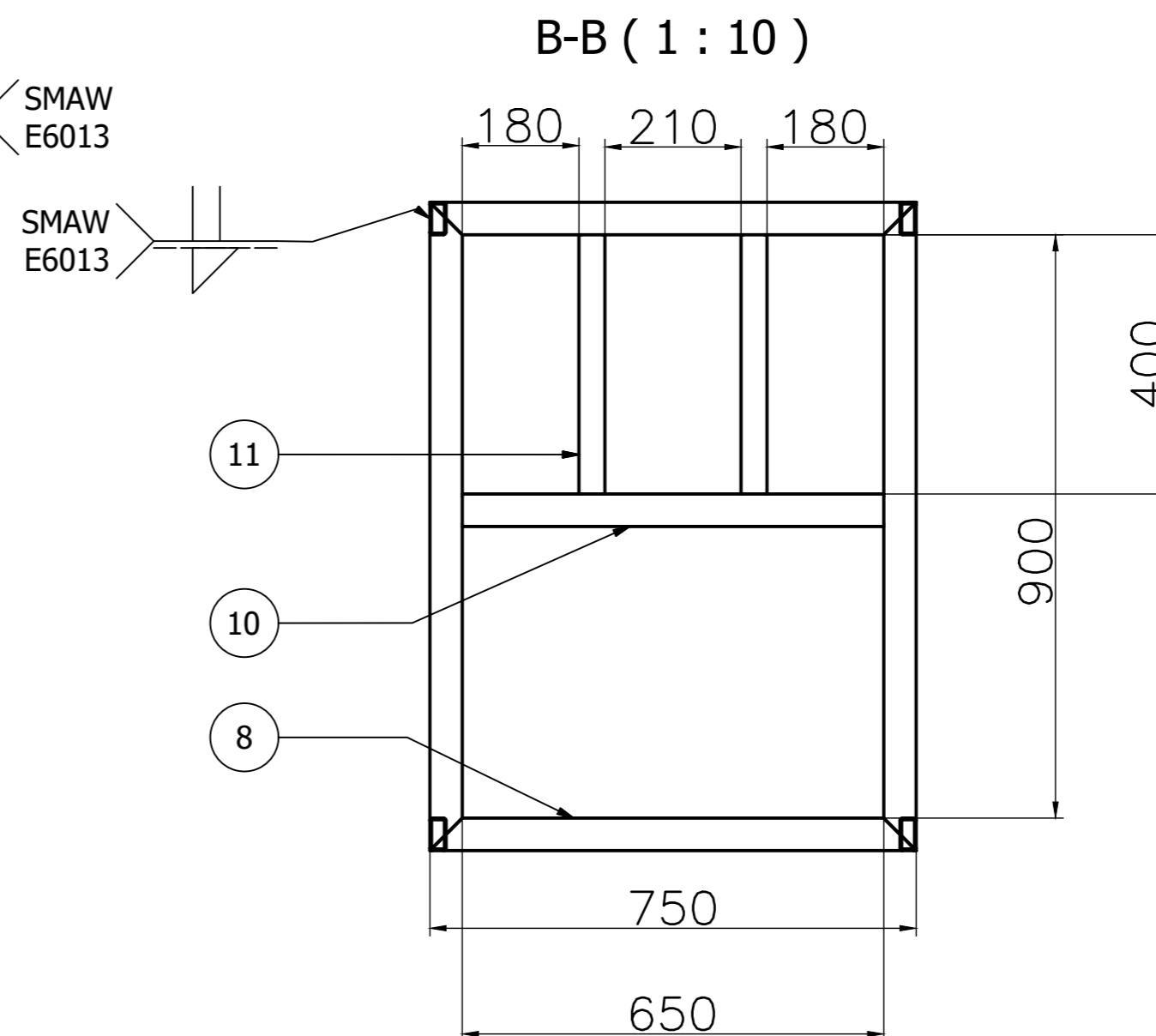
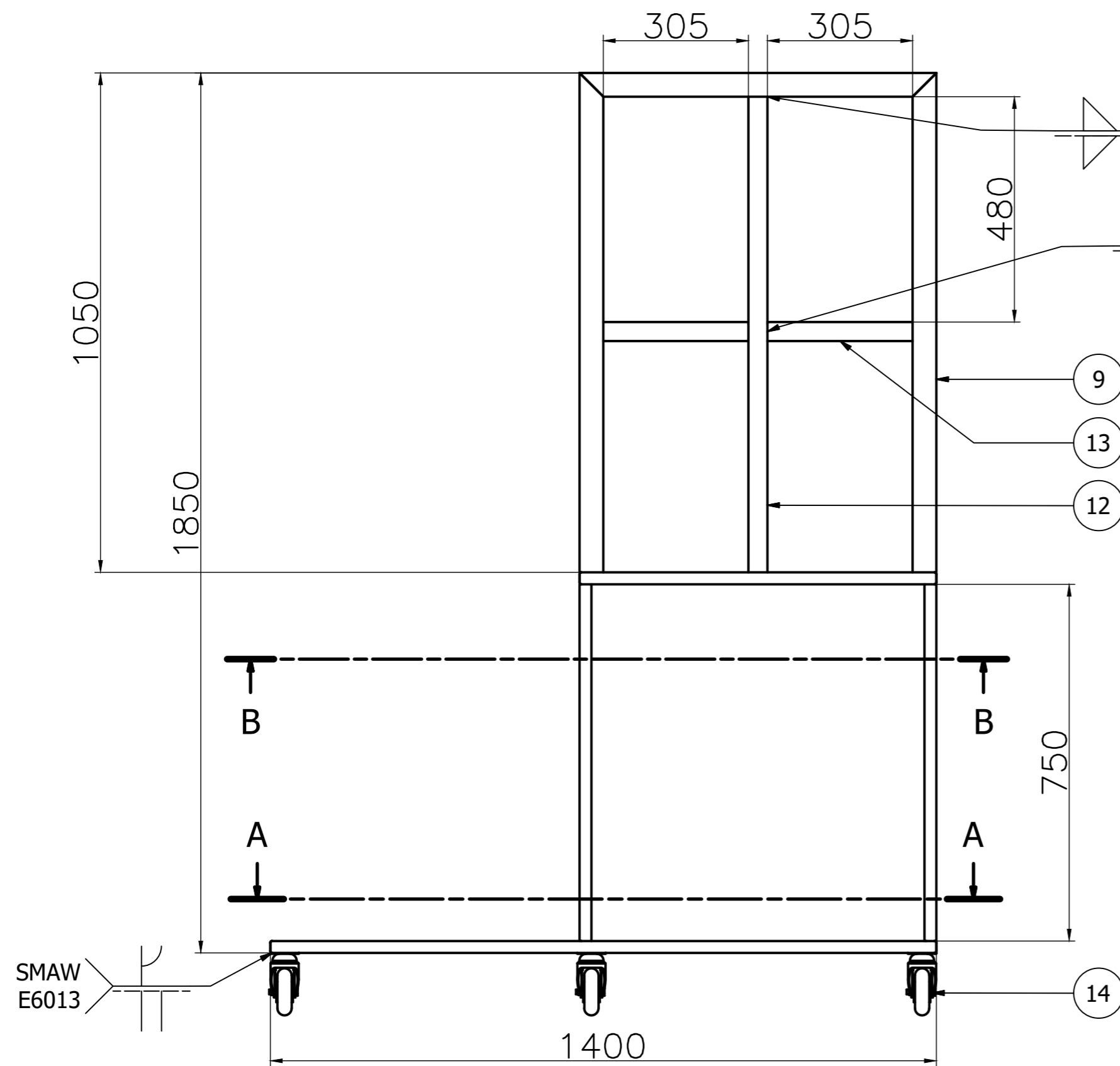
Bomba de calor
 Modelo: KF70-X
 Temperatura máxima: 55 °C
 Capacidad de producción térmica nominal: 3.35 kW
 Refrigerante: R410A

Bomba de recirculación
 Modelo: LRP15 90A/160
 Voltaje: 110V
 Caudal máximo: 25 L/min

NOTA

El sistema es capaz de trabajar en modalidades de calentamiento y enfriamiento. Los elementos mostrados en el P&D estarán montados en la estructura mostrada en el plano TIC-BP.002

4		BOMBA DE CALOR		1	VARIOS	Modelo KF70-X
3		VÁLVULA DE GLOBO		1	COBRE	Válvula globo universal 3/4"
2		BOMBA DE RECIRCULACIÓN		1	VARIOS	Modelo LRP15 90A/160
1		TANQUE DE ALMACENAMIENTO		1	ACERO A36	Capacidad de 30 galones
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN
EPN		FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIB.:	Luis Correa Vargas	ESCALA:
				DIS.:	Luis Correa Vargas	
				REV.:	Prof. Carlos Naranjo M.	
EQUIPO DE CALENTAMIENTO				TIC-BP.001		FECHA: 10-03-2024



14	D-4	GARRUCHA LOCA CON FRENO	-	6	ACERO A36	Garrucha 3" 100 kg
13	B-4	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	2	ACERO A36	L=305 mm
12	B-4	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	1	ACERO A36	L=1000 mm
11	B-5	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	2	ACERO A36	L=400 mm
10	C-5	TUBO RECTANGULAR 50X25X1.5 mm	NTE INEN 2415	1	ACERO A36	L=650 mm
9	B-4	TUBO RECTANGULAR 50X25X1.5 mm	NTE INEN 2415	2	ACERO A36	L=1050 mm Extremo superior a 45°
8	C-5	TUBO RECTANGULAR 50X25X1.5 mm	NTE INEN 2415	7	ACERO A36	L=750 mm 3 elementos tienen Extremos a 45°
7	E-4	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	2	ACERO A36	L=215 mm
6	E-4	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	4	ACERO A36	L=180 mm
5	E-1	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	2	ACERO A36	L=205 mm
4	F-1	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	4	ACERO A36	L=160 mm
3	F-4	TUBO RECTANGULAR 40X20X1.5 mm	NTE INEN 2415	5	ACERO A36	L=900 mm
2	F-2	TUBO RECTANGULAR 50X25X1.5 mm	NTE INEN 2415	2	ACERO A36	L=1400 mm Extremos a 45°
1	F-4	TUBO RECTANGULAR 50X25X1.5 mm	NTE INEN 2415	4	ACERO A36	L=1000 mm Extremos a 45°
N° ZONA	DENOMINACIÓN		PLANO/NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		DIB.: Luis Correa Vargas	ESCALA: 1:10
			DIS.: Luis Correa Vargas	
			REV.: Prof. Carlos Naranjo M.	
BANCO DE PRUEBAS			TIC-BP.002	FECHA: 10-03-2024