

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

Trabajo de Investigación

**Diseño de una cámara frigorífica para la conservación
de medicinas en comunidades alejadas de la
región Selva del Perú**

Claudio Fernando Manchego Urquiza
Juan Fernando Vera Canales

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Mecánica

Arequipa, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, quienes a lo largo de nuestra vida nos han apoyado e incentivado a mejorar como personas y seguir en nuestra formación académica, desde un inicio creyeron en nosotros y nunca dudaron de nuestras habilidades.

A nuestros docentes en toda nuestra vida universitaria, a quienes les debemos todos nuestros conocimientos, gracias por su paciencia y enseñanza.

A nuestra querida universidad que nos abre las puertas al aprendizaje, de todo aquel que quiera desarrollarse como profesional y principalmente como persona, con grandes valores y grandes capacidades.

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto de tesis primero a Dios y a nuestros padres, porque siempre han estado con cada uno de nosotros cuidándonos y proporcionándonos las fuerzas para seguir estudiando, además de formarnos con altos valores que vamos aplicando día a día, siempre velando por nuestro bienestar. También queremos agradecer a nuestros docentes a lo largo de todo este trayecto llamado Universidad, sin ellos no tendríamos el conocimiento ni las estrategias para la culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	ix
CAPÍTULO I	11
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	11
1.1 Planteamiento y formulación del problema	11
1.1.1 Planteamiento del problema	11
1.1.2 Formulación del problema	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Justificación e importancia	15
1.3.1 Justificación Social	15
1.3.2 Justificación Teórica	16
1.3.3 Justificación práctica	16
CAPÍTULO II	17
MARCO TEÓRICO	17
2.1 Antecedentes del problema	17
2.1.1 Antecedentes internacionales	17
2.1.2 Antecedentes nacionales	21
2.2 Bases teóricas	23
2.2.1 Refrigeración	23
2.2.2 Energías renovales	30
2.2.3 Cámaras frigoríficas	31
2.2.4 Medicamentos termolábiles	33
2.2.5 Sistema de refrigeración por Absorción Servel	33
2.2.6 Dimensionado de Cámara frigorífica	37
2.2.7 Cálculos de transferencia de calor	41
2.3 Definición de términos básicos	48
CAPÍTULO III	52
METODOLOGÍA	52

3.1 Tipo de investigación.....	52
3.2 Nivel de investigación	52
3.3 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución.....	53
3.3.1 Estado del arte	53
3.3.2 Metodología VDI 2221	53
3.3.3 Estructura de la metodología VDI 2221	54
3.3.4 Definir y clarificar tareas	55
3.3.5 Determinar funciones.....	56
3.3.6 Posibles soluciones	56
3.3.7 Nombrar cada solución en módulos.....	56
3.3.8 Distribución general	57
CAPÍTULO IV.....	58
ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN.....	58
4.1 Estado del arte	58
4.1.1 Arte Internacional.....	58
4.1.2 Arte nacional.....	61
4.2 Identificación de requerimientos.....	62
4.2.1 Definir y clarificar tareas	62
4.3 Determinar funciones	64
4.3.1 Elaboración de la caja negra	64
4.4 Posibles soluciones	66
4.4.1 Solución principal.....	66
4.5 Nombrar cada solución en módulos	68
4.5.1 Análisis de la solución.....	71
4.6 Diseño.....	74
4.6.1 Análisis del diseño	74
4.6.2 TABLA DE RESULTADOS	90
CAPÍTULO V.....	92
5.1 Simulación.....	92
5.1.1 Simulación de cálculos mediante software EES	92
5.1.2 Simulación de cámara en funcionamiento	97
5.1.3 Simulación de flujo de calor a través de paredes con aislante	99
5.1.4 Simulación de flujo convectivo a través del visor	102

5.2 Resultados	104
5.2.1 Simulación de cálculo mediante software ESS	104
5.2.2 Simulación de cámara en funcionamiento	105
5.2.3 Simulación de flujo de calor a través de paredes con aislante	105
5.2.4 Simulación de flujo convectivo a través del visor	105
CONCLUSIONES.....	107
RECOMENDACIONES	109
REFERENCIAS	110
ANEXOS.....	113

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelo termodinámico de la máquina por absorción. Tomado de Salguero, 2011, p. 25.....	26
Figura 2. Máquina de absorción ideal. Tomada de Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración solar, por Salguero-Fernández, 2011, p. 17.....	28
Figura 3. COP máximo de un sistema de refrigeración por absorción. Tomado de Yunus Çengel, 7ma edición p. 646.....	29
Figura 4. Mapa de temperaturas en el Perú. Tomada de Senamhi hasta el año 2016, disponible en: https://www.senamhi.gob.pe/?&p=radiacion-uv	31
Figura 5. Nevera por absorción-difusión. Tomada de “Potencial de un sistema de refrigeración solar por absorción en zonas de alta irradiación en Colombia para cargas de refrigeración médicas y conservación de alimentos”, por Beltrán, J, 2018.	34
Figura 6. Sistema de Refrigeración por absorción Servel. Tomado de “Calentamiento de Agua, Calefacción y refrigeración por energía solar”, por Mendez, R, 2011.	35
Figura 7. Tabla de temperaturas y almacenaje para vacunas. Tomada de "Guideline for stabilising of improving primary and intermediate vaccine stores WHO/V&B/02-34" Adaptado por MINSAPERÚ, 2017.	39
Figura 8. Cálculo de volumen de dosis de vacunas del esquema nacional de vacunación. Tomada de NTS 497-2017 MINSAPERÚ.	40
Figura 9. Modelos de cámaras utilizadas y aprobadas por MINSAPERÚ. Tomada de NTS 497-2017 MINSAPERÚ.	40
Figura 10. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana sujeta a convección sobre ambos lados, y la analogía eléctrica. Tomada de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición.....	42
Figura 11. Blindaje contra la radiación, entre dos placas. Tomado de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición, p.761.	45

Figura 12. Tabla de emisividades de materiales. Tomado de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición, p.28.	46
Figura 13. Gráfica técnico-económico, para selección de diseño óptimo. Elaboración propia.....	74
Figura 14. Tabla de temperaturas en región selva de Perú. Tomada de “Boletín climático nacional 2018 SENAMHI”. Tomada de https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-60.pdf	80
Figura 15. Cálculo en EES sobre espesores de paredes y aislantes. Elaboración propia. ...	93
Figura 16. Solución Interactiva (Diagram Windows). Cálculo de espesores de paredes. Elaboración propia.....	93
Figura 17. Cálculo en EES sobre Convección Natural dentro de recintos cerrados. Elaboración propia.....	94
Figura 18. Solución Interactiva (Diagram Windows). Convección natural dentro de recintos cerrados. Elaboración propia.	94
Figura 19. Cálculos EES. Recalculo de transferencia de calor a través del visor, con un blindaje contra la radiación. Elaboración propia.....	95
Figura 20. Recalculo EES. Solución Interactiva (Diagram Window). Transferencia de calor a través del visor. Elaboración propia.	96
Figura 21. Cálculo en EES, razón de calor como Infiltración. Elaboración propia.	97
Figura 22. Solución Interactiva, Diagram Windows. Razón de transferencia de calor como infiltración. Elaboración propia.....	97
Figura 23. Simulación de cámara en funcionamiento, ubicado dentro de un cuarto de almacén de medicinas.....	98
Figura 24. Simulación de calor, a través de paredes con aislante, expresado en Temperaturas.	99
Figura 25. Conjunto de datos. Línea de corte en 3D de pared.	100

Figura 26. Isosuperficie de temperaturas.....	100
Figura 27. Gráfica lineal de temperatura. Elaboración propia.	101
Figura 28. Flujo de calor total a través de las paredes. Diagrama T-L.....	101
Figura 29. Vista Isométrica de la ventana.	102
Figura 30. Flujo de calor convección Superficie: Temperatura (K).....	103
Figura 31. Gráfico lineal. Temperatura (K) – Longitud.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de medicamentos según categorías. _____	13
Tabla 2. Modelo de tabla para realizar “Lista de Exigencias”. _____	55
Tabla 3. Base para Matriz Morfológica. _____	56
Tabla 4. Lista de exigencias. _____	63
Tabla 5. Matriz Morfológica _____	66
Tabla 6.. Evaluación técnica. _____	71
Tabla 7. Evaluación económica. _____	72
Tabla 8. Tabla de materiales, con espesores y resistencias. _____	78
Tabla 9. Conductividad térmica y espesor de materiales. _____	83

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es de realizar un diseño de cámara frigorífica dirigido a la refrigeración de medicamentos, en la región selva del Perú, el cual irá enfocado a un equipo de refrigeración con sistema Servel, ya que este sistema funciona con el uso de la energía calorífica del sol, seleccionado los aislantes y realizar el cálculo de espesores de estos, para el aislamiento de la cámara, así como cálculo de diseño de carga térmica, para poder saber la capacidad de refrigeración que tiene que tener el sistema con el que se va a trabajar.

El proyecto de investigación desarrollado es de tipo tecnológico, ya que se encuentra fundamentada en el método científico, contribuyendo a la mejora de un producto, como es el de la cava de conservación, cubriendo las necesidades de la población y los centros de salud para poder conservar los medicamentos en un estado adecuado. Como metodología se utiliza la VDI 2221 para diseño técnico y la norma VDI 2225 para el análisis técnico económico.

Se pudo obtener resultados acordes a lo esperado, calculando un total de 19.363 W de energía en calor que ingresa a la cámara de manera de convección, conducción y radiación, obteniendo así un valor bajo, el cual es favorable para poder trabajar con un sistema Servel, tomando en consideración los 150 L de capacidad. Concluyendo así que la capacidad de refrigeración del equipo deberá de ser de 23.24 W este cálculo es tomado con un factor de seguridad de 1,3.

Palabras clave:

Cadena de Frio, Selva peruana, Medicamentos termolábiles, Sistema Servel, Refrigeración, Cámara frigorífica. Capacidad frigorífica

ABSTRACT

The objective of this project is to carry out a design of a cold room aimed at the refrigeration of medicines, in the jungle region of Peru, which will be focused on a refrigeration equipment with a Servel system, since this system works with the use of the heat energy from the sun, selecting the insulators and carrying out the calculation of their thickness, for the insulation of the chamber, as well as calculation of the thermal load design, in order to know the cooling capacity that the system with which it is used must have. goes to work.

The research project developed is of a technological nature, since it is based on the scientific method, contributing to the improvement of a product, such as that of the conservation cellar, meeting the needs of the population and health centers to be able to keep medicines in a suitable state. The methodology used is VDI 2221 for technical design and VDI 2225 for technical-economic analysis.

It was possible to obtain results according to expectations, calculating a total of 19,363 W of energy in heat that enters the chamber through convection, conduction, and radiation, thus obtaining a low value, which is favorable to be able to work with a Servel system., taking into consideration the 150 L capacity. Thus, concluding that the cooling capacity of the equipment should be 23.24 W, this calculation is taken with a safety factor of 1.3.

Key words:

Cold Chain, Peruvian Jungle, Thermolabile Medicines, Servel System, Refrigeration, Cold Room.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo que lleva por título, “Diseño de una cámara frigorífica para la conservación de medicinas en comunidades alejadas de la región selva del Perú” comprende acerca del diseño de una cámara frigorífica basado en calculo teórico para flujos de calor a través de las paredes utilizando los tipos transferencia calor como conducción, radiación y convección, cálculos por infiltración, logrando así determinar los materiales, espesores y características con las que deberá contar la cámara frigorífica, así como la selección del sistema de absorción de calor, finalmente simulación por software de elementos finitos como, EES, SolidWorks y COMSOL Multiphysics.

El diseño de la cámara dará el aporte de una solución adecuada para conservar medicamentos en las zonas alejadas de la región selva del Perú contribuyendo a la población, brindando medicinas y vacunas en buenas condiciones, ya que existen diferentes enfermedades las cuales deben ser tratadas y tanto visitantes como habitantes deben ser vacunados contra estas, algunas de estas son, fiebre amarilla y la malaria en zonas de riesgo. Además de esto la necesidad de encontrar una forma de energía alternativa como lo es la termo solar, para generar refrigeración, es importante, por las actuales condiciones de nuestro medio ambiente.

La tesis presentada se encuentra dividida en 5 capítulos donde en el capítulo I se desarrolla el problema de la investigación, analizando la problemática actual, justificación y objetivos, Seguidamente se desarrolla el marco teórico en el capítulo II, donde se presentan los antecedentes, bases teóricas relacionadas con el problema a solucionar, detallando información necesaria para desarrollar los cálculos teóricos, en el capítulo III, se detalla la metodología a utilizar, la Norma VDI 2221 para diseño de ingeniería, norma alemana y la Norma VDI 2225 para el desarrollo del análisis técnico y económico. Se desarrolla la propuesta de solución en el capítulo IV determinando las dimensiones de la cámara, seleccionando materiales aislantes y demás accesorios pertenecientes a la cámara, para así

poder simular en el capítulo V gracias a los softwares de elementos finitos y contrastar los resultados con los cálculos teóricos.

Finalmente se presentan las conclusiones acerca de las cargas térmicas encontradas, así como los materiales de construcción a emplear, se presentan las simulaciones finales con los datos obtenidos logrando así el cumplimiento del objetivo principal, que es el diseño de la cámara frigorífica capaz de conservar la temperatura de 2 a 8 °C, obteniendo un tamaño estandarizado de 150 Litros.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

En los centros médicos del país, la conservación de medicamentos es muy importante e indispensable, ya que estos son un punto clave y primordiales para poder prevenir, controlar y por último eliminar enfermedades, mediante el uso de estos, especialmente la selva del Perú, esta región presenta gran riesgo de contraer enfermedades, según MINSA Perú, recomienda la vacunación contra la fiebre amarilla y la malaria en zonas de riesgo, por otro lado, según la CDC (Centers for Disease Control and Prevention), recomiendan vacunarse contra enfermedades como Hepatitis A, Hepatitis B, Fiebre Amarilla y Rabia, para personas que quieran visitar el Perú, el no estarlo representa un gran riesgo para la vida y la salud de las personas.

Los medicamentos termolábiles deben mantenerse dentro de una cadena de frío, los cuales deben de estar bajo los siguientes aspectos: La manipulación, transporte, almacenamiento y conservación, por esto un equipo indispensable y necesario,

que interviene, es una cámara frigorífica o cava de conservación de medicamentos, para poder evitar así, la pérdida y deterioro de la capacidad inmunizante que tienen estos, debido a que hay que tener especial cuidado, ya que son irreversibles y también acumulativas y estos efectos se hacen mayores y más perjudiciales, con el tiempo de exposición.

En este sentido la cadena de frío, es esencial y se considera un pilar muy importante en cuanto a actividades que se realizan para inmunizaciones, ya que de esta depende la seguridad, la calidad y también la garantía, para poder proteger a la población de enfermedades que pueden ser prevenibles mediante medicamentos termolábiles.

Para los centros de auxilio médico alejados de la ciudad, esta labor es más complicada, ya que no cuentan con los recursos que son necesarios para poder suministrar a estos equipos la energía y que estos tengan la disponibilidad que deberían, lugares donde las temperaturas que registran son altas y lo que ocasiona que la transferencia de calor entre el medio y la cámara sea mayor, haciendo que el requerimiento del diseño de la cámara de refrigeración, así como su aislamiento del exterior, con el interior de la cámara, es de vital importancia. De igual manera, el sistema de refrigeración debe realizar la extracción de, es por esto que existen sistemas de refrigeración que son pensados, para poder funcionar sin fluido de energía eléctrica y solamente con la energía solar, ya sea fotovoltaica o energía calorífica que puede proporcionar.

Se requiere una temperatura entre $+2^{\circ}\text{C}$ y $+8^{\circ}\text{C}$ para poder lograr este cometido y mantener en buen estado los suministros, es por esto por lo que el diseño de la cava de conservación es importante y necesaria para poder optimizar este proceso, teniendo en cuenta las infiltraciones y capacidades de refrigeración que se requiere, así como la transferencia de calor que existe en este volumen de control que se quiere diseñar.

Un punto para tener en cuenta es cuando se produce rotura de cadena de frío, los medicamentos que requieren las temperaturas de conservación descritas son termoestables y se ven afectados por la exposición, y muchas veces hay que desecharlos por estar fuera de este rango de temperaturas por un lapso de tiempo a los que fueron expuestos, pudiendo afectar la estabilidad, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de medicamentos según categorías.

Categoría	Estabilidad	Actuación
A	Estable ≥ 28 días a 25°C	Etiquetar si cumple condiciones, si o no, desechar.
B	Estable ≥ 7 días y < 28 días a 25°C	Etiquetar si cumple condiciones, si o no, desechar.
C	Estable ≥ 48 h y < 7 días a 25°C	Etiquetar si cumple condiciones, si o no, desechar.
D	Estable < 48 h a 25°C	Valorar individualmente en función del tiempo y temperatura alcanzada.
E	No estable fuera de nevera ($>8^{\circ}\text{C}$)	Desechar.
F	Estabilidad depende del lote	Consultar laboratorio.

Nota: Obtenido de Medicamentos termolábiles. Protocolo de actuación en la rotura de la cadena de frío (Pertañez L).

Estos se encuentran clasificados por categorías y la manera de actuar, si cumple condiciones o no, esto va de la mano con un registro de temperaturas. Por consiguiente, diseñar una cámara que alargue el tiempo de conservación a estas temperaturas definidas entre 2°C y 8°C , es importante, más cuando ocurre rotura de cadena de frío, evitando así afectar la estabilidad de los medicamentos y

desecharlos por una alargada exposición a temperaturas no factibles para la conservación de estas.

En el año 2010 se realizó la visita a 21 locales de la selva, en específico los pueblos amazónicos, estas fueron realizadas por la defensoría del Pueblo, donde se corroboró que un 33% no cuenta con cadenas de frío, indispensables para la conservación de medicamentos, y el 13% posee cadenas de frío en estado inoperativo y sin mantenimiento, cabe resaltar que un 95% no cuenta con los insumos necesarios.(Macedo J. 2010) por otro lado se realizó un operativo de control salud a 1554 centros y postas de salud a nivel nacional, observándose diversas deficiencias, mostrando los siguientes resultados alarmantes, nos dice que un 47 % de los medicamentos esenciales, son inexistentes, también un 79 % tiene deficiencia de equipamiento mínimo, otro dato importante es que el 44 % no cuenta con servicios básicos de energía eléctrica, agua y/o desagüe. Añadiendo a estos datos se pudo observar que, en una gran mayoría de estos centros y postas de salud, siendo más de 700, existe un alto riesgo de ineficiencia de tratamientos médicos debido a el desabastecimiento de insumos prioritarios y medicamentos, por falta de cadena de frío y otros aspectos.

Para poder realizar las Buenas prácticas de Almacenamiento de medicamentos, que se necesita para la cadena de frío, se tiene como base los indicadores que precisan cadena de frío, establecidos en la Resolución Ministerial N° 497-2017 MINSA en la NTS N° 136 - MINSA/2017/DGIESP.

Con todo lo anterior presentado se refuerza la idea de mejorar y aportar a centros de salud, así como a comunidades una cámara de refrigeración que cumpla con su función, para la conservación de medicinas en la selva peruana.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema General

- ¿Cómo diseñar una cámara frigorífica para minimizar las pérdidas de calor?

Dirigido a la conservación de medicamentos, para un modelo de refrigeración por absorción Servel.

1.1.2.2 Problema Especifico

- ¿Cómo diseñar una cámara frigorífica para mantener la temperatura optima de 2°C a 8°C para la conservación de medicamentos?
- ¿Cuánto calor es necesario extraer, dentro de la cava de conservación, para un modelo de refrigeración por absorción Servel?
- ¿Qué características debe de tener la cámara frigorífica para conservar el frio ganado en la conservación de medicinas?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Realizar el diseño de una cámara frigorífica enfocado a medicamentos, para minimizar las pérdidas de calor.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar los aislantes adecuados, con sus espesores correspondientes para el aislamiento de la cámara de refrigeración de medicamentos.
- Realizar el cálculo de diseño para obtener la carga térmica y saber la capacidad del equipo de refrigeración que debe tener, para la conservación de medicinas.
- Diseñar un modelo de cámara frigorífica de tamaño ideal, con capacidad de almacenamiento adecuado para la conservación de medicinas.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación Social

La solución planteada beneficiara a centros médicos y a los habitantes de la región selva del Perú, ya que con este diseño se propone como objetivo la conservación de medicamentos, ya que para esta región la presencia de enfermedades como la fiebre amarilla y la malaria son latentes y presentan gran riesgo para las personas residentes o visitantes de algunas zonas, además se podrá evitar o minimizar el

desecho de estos insumos por rotura de cadena de frío, sin afectar la estabilidad de estos.

1.3.2 Justificación Teórica

Esta investigación es hecha con la intención de contribuir a mejorar la información y conocimientos acerca de las energías renovables siendo un tema muy amplio y poco explotado al día de hoy, la energía es vital para cualquier producto o actividad, esta producción se está dando actualmente por la quema de combustibles fósiles, siendo un contribuyente importante para la contaminación ambiental y el desgaste de un recurso no renovable, para esto es importante mejorar la aplicabilidad de los recursos entrantes como la energía solar y el gas natural, los cuales son la fuente de energía para un sistema de refrigeración Servel.

1.3.3 Justificación práctica

Gracias al uso de energía termo-solar en un sistema Servel es posible diseñar una cámara capaz de conservar medicamentos volviéndolo autosustentable, para las zonas donde el fluido eléctrico no es constante y las temperaturas son elevadas a lo largo del año, los habitantes vienen siendo afectados por este problema que es cubierto por el proyecto, la necesidad de refrigeración es aplicable a otras necesidades como los son en la industria alimentaria, humana y tecnológica. Se sabe que las medicinas han sido desarrolladas por el propio ser humano y son muy importantes para él, la solución a la problemática de cómo guardarlos y conservarlos de tal forma de que no pierdan sus propiedades químicas se ve cubierto por este proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

2.1.1 Antecedentes internacionales

Arias, C, (2018), realizó la investigación: “Potencial de un sistema de refrigeración solar por absorción en zonas de alta irradiación en Colombia para cargas de refrigeración médicas y conservación de alimentos”, en la facultad de ingeniería en la Universidad Libre de Bogotá, Colombia, que tiene el objetivo de poder establecer que potencial debe de tener el sistema de refrigeración solar mediante absorción, para las zonas altas de este país, abocado a la conservación de medicamentos y la refrigeración médica. Usando un sistema de refrigeración sersel, con la particularidad de que este sistema funciona sin el requerimiento de una bomba para poder ofrecer caudal, al cual se sometió a pruebas de laboratorio para poder obtener resultados de carga térmica, concluyendo con un sistema operativo de refrigeración por absorción de modelo sersel, moldeándose mediante un software la instalación térmica fotovoltaica y solar en el programa TRNSYS, también se pudo obtener la eficiencia del equipo, pero esta varía dependiendo de la incidencia solar, la energía calorífica que proporciona y es captada para poder ser absorbida por el sistema.[7]

En el trabajo de investigación presentado de Yépez y Petro (2015), que tiene como título “Diseño y construcción de un sistema de refrigeración por absorción intermitente empleando energía solar para la conservación de frutas tropicales en el departamento de Córdoba”, La falta de aplicación y uso de las energías amigables como lo son la energía solar y demás existentes, se tiene como objetivo el diseñar y construir con el uso de energía térmica un sistema de refrigeración mediante absorción, aplicado a la conservación de frutas, en el departamento de Córdoba, La investigación previamente realizada acerca de las condiciones del departamento y su capacidad calorífica, con una toma de datos activa acerca de las condiciones necesarias, determina que prescindir de la energía eléctrica es lo más importante ya que son zonas donde el fluido eléctrico muchas veces no llega o es muy bajo, para el prototipo se hicieron muchos ajustes. Este trabajo brinda una base de prototipo donde se emplean los recursos energéticos que provee el sol, también brinda un claro panorama de la conservación de perecibles y la utilización de componentes para la generación de frío y su posterior uso en una cabina de conservación.[10]

Catucuago, N. y Tipan, L. en el año 2015, realizaron la investigación que lleva por título “Diseño y construcción de una cámara frigorífica modular de 9.6 m³ para conservación de vacunas”, en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, para optar el grado de Ingeniero Mecánico, donde plantea acerca del crecimiento de la humanidad y como esta ha generado un crecimiento en las necesidades de conservar la comida y demás necesidades como lo son los medicamentos, mencionando la descomposición biológica de muchos componentes inmunobiológicos que están compuestos por microorganismos, en su mayoría, por lo que se plantea el diseño de una cámara frigorífica de 9.6 m³ de capacidad, aplicando bases teóricas y de cálculo en transferencia de calor, así como para la construcción del modelo final, obteniendo como resultado, las cargas del sistema final, así como la selección adecuada de componentes, llegando a una conclusión importante para el proyecto, acerca de los medicamentos termolábiles, es imposible determinar la cantidad de

producto ya que la presentación no es definida, además de encontrarse en frascos de distinto tamaño y diferentes dosis, así como la inexistencia de un calor específico para cada medicamento, por lo que se utiliza una aproximación con diferentes elementos, esto es de gran utilidad para utilizar la aproximación, en el cálculo de cargas térmicas, obteniendo así mejores resultados. [3]

Martínez Castillo, en el año 2018, realizó la investigación “Estudio experimental y simulación de sistemas de climatización solar mediante ciclos de absorción”, en la Universidad Miguel Hernández de Elche, para optar el grado de doctor, cuyo objetivo es incrementar los conocimientos en cuanto a lo que es control, diseño y funcionamiento de máquinas que utilicen sistemas, de refrigeración, aclimatación, con energía solar térmica, teniendo base los modelos de absorción, modelizando una máquina y elaborando y validando la instalación de esta. Utilizando la metodología experimental en el análisis de sistemas de climatización, componiéndose de dos partes: Primero se tiene una planta piloto donde comienza este estudio, realizando múltiples pruebas de funcionamiento bajo condiciones específicas. Después se modeló bajo el software TRNSYS un exploratorio de instalación, pero debido a la exactitud se elaboró un modelo matemático de lo que es un a máquina de absorción, realizado con el software EES. Concluyendo con los resultados de dicho modelo de simulación de mejora, que es capaz de mantener las condiciones deseadas del 60%, es analizado bajo distintas condiciones climáticas donde las condiciones de confort varían dependiendo a la locación; existiendo también una diferencia significativa entre la energía eléctrica consumida y la entrega de ratio de frío.[6]

Según Juan Beltrán, en el año 2018, Realizó la investigación que lleva por título “Potencial de un Sistema de Refrigeración Solar por absorción en zonas de alta irradiación en Colombia para cargas de refrigeración médicas y conservación de alimentos”. En la universidad Libre de Colombia para la obtención de maestría en ingeniería, aproximadamente un 25% del país no cuenta con fluido eléctrico y en zonas como Guajira, Guaviare, amazonas, entre otros departamentos, presenta un alto índice de padecimientos como Salmonella, Gastroenteritis, Colera, Botulismo

infantil, enfermedades ETA, la necesidad de refrigerar alimentos normada por la ley, así como la conservación de medicamentos en centros de salud, como vacunas, insulinas, suero y fármacos, en la zona se tiene una temperatura ambiente cálida y muchas veces con gran cantidad de humedad, es por esto que tiene como objetivo determinar el potencial de un sistema de refrigeración por absorción, en zonas donde la temperaturas son elevadas para cargas de refrigeración médicas y conservación de alimentos, se realiza la investigación de las condiciones ambientales, como las temperaturas y cantidad de radiación solar, así como la revisión de teoría en transferencia de calor, en memoria de cálculo y simulación el potencial de absorción de calor dio como resultado una temperatura en el congelador de 7°C , lo cual muestra el cumplimiento de su función, al igual que su COP es de una promedio de 0.6 real, para la investigación se utilizara tanto la metodología como la teoría, gracias a la similitud de objetivos, tomando en consideración la diferencia de zonas y demás factores.[2]

En el artículo científico de Camargo, Quintero, Ávila y Gutiérrez (2018), que tiene como título “Potencial termodinámico de un refrigerador intermitente por absorción bajo las condiciones climáticas de Riohacha, en Colombia” que apremia el objetivo de examinar, qué tan sensible es un refrigerador solar mediante adsorción, teniendo en base el COP que es la eficiencia térmica, todo esto con relación a todas las variables del clima de Colombia, Riohacha; mediante la metodología usada por medio de simulación en computadora, el análisis del estudio se basa en la realización del diseño que se evalúa bajo condiciones que se obtuvo de un estudio previo mediante la realización de un análisis termodinámico minucioso, mediante este fue posible evaluar, en este caso, como responde el equipo al entorno climático donde está expuesto midiendo la sensibilidad. El trabajo presenta como resultado final la existencia de una mínima temperatura, entre los valores que puede tener la temperatura final, esto indica que, si se llega debajo de la mínima temperatura, el equipo no puede cumplir su función principal de refrigerar, obteniendo así que, por el contrario, la cámara del evaporador aumenta su temperatura. Concluyendo de la

misma manera que la temperatura y radiación media del distrito de Riohacha son propicios para que un equipo de refrigeración mediante absorción pueda alcanzar un COP de 0.52 a lo largo de un año.[4]

Jordán Eusebio (2018) presentó la investigación “Diseño de tres cámaras frigoríficas de conservación y una de congelación para el macenamiento de productos avícolas situada en la población de Hellín (Albacete), para optar el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica de Valencia, que apremia al objetivo del diseño y construcción, así como la selección de aislantes y materiales, de igual manera los cálculos para la cámara frigorífica y las instalaciones eléctricas que se necesita, para una empresa avícola, teniendo como presupuesto total de 154917.09 euros, se obtuvieron resultados de cargas térmicas como el calor por producto de 51%, por transmisión 20%, por renovación de aire de 17% y por último, cargas internas de 12%, de estos datos son una media que se dan para las cámaras, con dimensiones de 6 x 10.5 x 3 m, para la cámara 1, 8x 10.5 x 3 m para la cámara 2 , 6 x 6 x 3 m para la cámara 3, todas estas trabajando a una temperatura de -1°C , con espesores de 150 mm , este valor sobredimensionado, con fin de convertir esta cámara frigorífica en una cámara de congelación. Se logró construir las tres cámaras frigoríficas, teniendo en cuenta las cargas térmicas, así como aislantes, e instalaciones eléctricas con una potencia máxima admisible de 44.34 KW.[9]

2.1.2 Antecedentes nacionales

En el documento guía de Carmona (2017) de título “Conservación de medicamentos termolábiles. Actualización 2017”, cuyo objetivo es informar sobre algunos de los medicamentos termolábiles, por el método de recopilación donde se encuentran la cantidad de 979 datos de diferentes especialidades farmacéuticas incorporando las novedades que surgen del año 2010 y esta actualización de especialidades que fueron tomadas de la anterior publicación. Esto a fin de adaptar a los nuevos requisitos existentes de conservación de algunos fármacos Este se encuentra ordenado de manera alfabética, donde incluye el principio activo, el nombre

comercial, la información, laboratorio y una referencia. Los resultados finales nos recomiendan la importancia del debido uso de los fármacos con condiciones óptimas respetando las debidas recomendaciones que nos ofrece la ficha técnica, también indica que el uso de fármacos con una mala conservación térmica, este puede sufrir daños y por seguridad debe ser revisado caso por caso con la ficha técnica.[5]

Valverde F., 2017, realizo la tesis que lleva por título: “Diseño de una cámara frigorífica para mangos 20 toneladas”, en la universidad Nacional tecnológica de Lima de Sur, gracias al crecimiento de la producción mundial de alimentos, crece con ello la necesidad de conservarlos, es por eso que se plantea como objetivo el diseño de una cámara frigorífica para la conservación de mangos, 20 toneladas, por lo que se escoge la locación de la cámara frigorífica, determinando así el tamaño de la misma, para luego seleccionar aislamiento y así determinar más detalles de la misma, gracias al cálculo de transferencia de calor y selección de componentes de acuerdo a las necesidades, obtenidas mediante el cálculo teórico se cumple con el diseño de la cámara, utilizando el refrigerante R-134a, siendo este el más ecológico, además de determinar las cargas térmicas del producto a conservar, respiración, embalaje, transmisión de paredes, iluminación infiltración de aire y considerando la cantidad de trabajadores del área, solucionando así la problemática planteada, gracias a esta investigación se pudo obtener los calculo a realizar, usando la base teórica de transferencia de calor y masa, enfocando así objetivos planteados para el diseño de una cámara frigorífica exitosa en conservación de medicamentos. [8]

Auccapure, 2019, realizó la investigación “Evaluación de las buenas prácticas de almacenamiento de medicamentos que requieren cadena de frío y nivel de conocimiento del personal encargado de su manejo en ESSALUD”, en la Escuela Profesional de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. El estudio tiene como objetivo aportar información evaluando las prácticas de almacenamiento de medicamentos, evaluando el nivel de conocimiento del personal, mediante encuestas a través de un cuestionario. Tomando la siguiente metodología: Se evaluaron en total 5 proveedores, se establecieron tres indicadores

de cadena de frío establecidos donde ni uno cumple con la normativa vigente, sin poder obtener los valores estándares nacionales esperados. Finalizando en los resultados, en que las buenas prácticas de almacenamiento de medicamentos que necesitan refrigeración, no son cumplidas al 100 % en la provincia de Cusco, específicamente las áreas, previamente estudiadas, de Essalud, pues la manera en que se conservan estos, no tienen la temperatura adecuada, además se pudo concluir que el personal de salud desconoce algunos procedimientos y condiciones para la conservación, proponiendo un manual con los respectivas instrucciones o procedimientos de operación para las técnicas que se evaluaron.[1]

Macedo, J. Ex congresista del Perú, realizó un resumen ejecutivo “Problemática de la salud en los pueblos amazónicos” tiene como objetivo la conducción y el planeamiento del sector salud , estableciendo metas de corto medio y largo plazo, nos presenta daos de la salud en comunidades amazónicas, así como las barreras existentes al acceso de la salud publica en comunidades nativas, concluyendo así que se debe orientar la política de salud pública, mejorando la accesibilidad a los centros de salud, como programas. Realizando el proceso de descentralización, más profundo.[12]

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Refrigeración

2.2.1.1 Definición

Se le denomina refrigeración al procedimiento por el cual se reduce la temperatura de un fluido en su mayoría de casos aire o agua mediante la extracción de calor de este obteniendo así temperaturas bajas, necesarias en muchas ocasiones, como nos menciona “la refrigeración es un proceso que extrae el calor de un ambiente y trasladarlo a otro, consiguiendo que este primer punto se enfríe” (CALORYFRIO, M, 2015).

2.2.1.2 Refrigeradores

Son dispositivos cíclicos de gran uso, donde existe la transferencia de calor de un ambiente con temperatura baja a otro de temperatura alta, siendo este su objetivo, extraer el calor del medio (Beltrán, 2014).

2.2.1.3 Ciclo clásico de refrigeración

Llamado así también al ciclo de refrigeración por compresión, que cuenta con cuatro componentes básicos por los que está compuesto, siendo los siguientes: compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador, que consiste en forzar de manera mecánica, en un circuito cerrado, la circulación de un medio refrigerante a través del sistema, para así poder absorber el calor del ambiente (Yañez, 2020).

2.2.1.4 Ciclo de refrigeración por absorción

Este sistema de refrigeración tiene como base la energía térmica, que puede ser obtenida por el sol, energía geotérmica, energías residuales, etc. tal como dice su nombre, requiere la absorción de un refrigerante por un medio de transporte (Çengel y Boles, 2011, p.644).

2.2.1.5 Partes de un ciclo de refrigeración por absorción

Para poder diseñar el sistema de refrigeración de la cámara frigorífica, es necesario esclarecer las partes que la componen.

2.2.1.5.1 Absorbedor

Su objetivo principal es el de colocar en contacto dos corrientes, donde el vapor del refrigerante es captado y asimilado por el mismo, pero en estado líquido produciendo así una reacción exotérmica, la capacidad de absorción es inversamente proporcional a la temperatura de este, por lo que debe ser enfriado por un agente externo, generalmente se usa agua para este fin, una vez culminado el proceso la solución resultante es trasladada al generador.

2.2.1.5.2 Generador

El componente se encarga de suministrar energía térmica para lograr obtener vapor de refrigerante, normalmente se usa agua caliente para obtener esta energía térmica, el agua caliente fluye alrededor de los tubos, los cuales contienen la solución de refrigerante y absorbente, donde el calor es captado y absorbido hasta llegar a vaporizar la mezcla, separando el refrigerante del absorbente, recuperando así el absorbente.

2.2.1.5.3 Condensador

Recibe el refrigerante en estado gaseoso (vapor de refrigerante) y procede a eliminar el calor de este, ya sea al aire libre en forma de calor o a un bloque de agua, al eliminar el calor del vapor de refrigerante este es licuado para poder introducirlo al evaporador.

2.2.1.5.4 Evaporador

Se le conoce como intercambiador de calor, ya que aquí es donde se extrae el calor del ambiente, en este caso la cámara contenedora de medicamentos, cumpliendo un proceso inverso al del condensador, recibe el refrigerante en ebullición proveniente del condensador, el cual hará el trabajo anterior mencionado.

2.2.1.5.5 Válvula de expansión

Se encarga de aminorar la alta presión del refrigerante líquido, proveniente del condensador para así regular el paso hacia el evaporador, está presente en la mayoría de los equipos de refrigeración, para lograr reducir la presión se basa en el estrangulamiento del líquido, haciendo pasar por un estrechamiento en su interior.

2.2.1.5.6 Bomba

Se encarga del movimiento del fluido a través del sistema, como lo es desde el absorbedor hasta el generador y así lograr el aumento de presión, además de mantener el ciclo de absorción cerrado.

2.2.1.6 Bases y fundamentos termodinámicos de un sistema de refrigeración por absorción

El ciclo de refrigeración por absorción, constituido por una maquina térmica es representado en la figura 1.

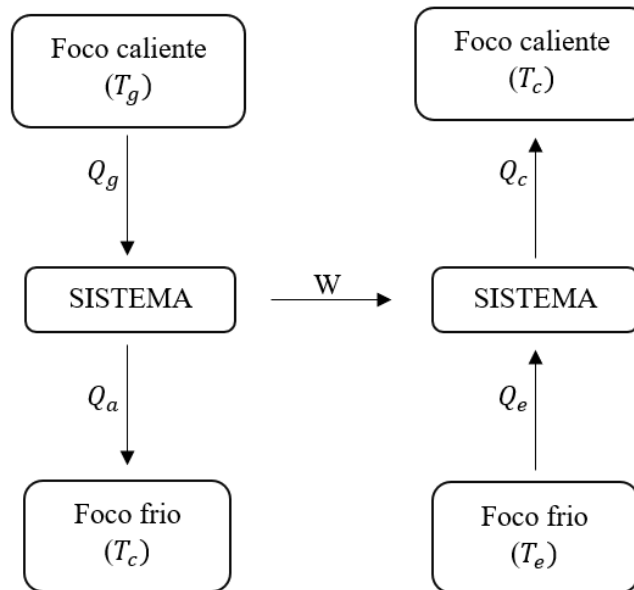


Figura 1. Modelo termodinámico de la máquina por absorción. Tomado de Salguero, 2011, p. 25.

Para la explicación del modelo presentado comenzamos con que el sistema absorbe energía calorífica (Q_g), del foco caliente (T_g), el sistema usa parte de esta energía y la convierte en energía de trabajo mecánico (W) y redirige el resto, (Q_a), hacia el foco frío con una temperatura (T_c). El sistema absorbe el trabajo mecánico generado W , y la energía

calorífica (Q_e) del foco frío a una temperatura de (T_e), y con la suma de ambos (Q_c) todo se dirige hasta el foco caliente de temperatura (T_c).

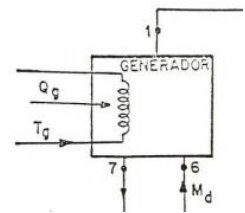
2.2.1.6.1 Balances de masa y energía

Para el caudal masico del refrigerante se refiere como m_r cumpliendo que $m_r = m_{r1} = m_{r2} = m_{r3} = m_{r4}$. Así como el caudal masico de la disolución $m_d = m_d = m_{d6}$.

Generador:

Masa: $m_7 = m_d = m_r$

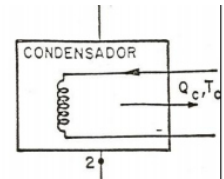
Energía: $Q_g = m_r * (h_1 - h_7) + m_d * (h_7 - h_6)$



Condensador

Masa: $m_{r1} = m_{r2} = m_r$

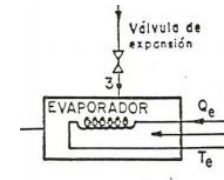
Energía: $Q_c = m_r * (h_2 - h_1)$



Evaporador

Masa: $m_{r3} = m_4 = m_r$

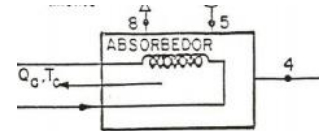
Energía: $Q_e = m_r * (h_4 - h_3)$



Absorbedor

Masa: $m_8 = m_d = m_r$

Energía: $Q_a = m_r * (h_8 - h_4) + m_d * (h_5 - h_8)$



Bomba

Masa: $m_{d5} = m_{d6} = m_d$

Energía: $W_b = m_d * (h_6 - h_5)$



El sistema completo de una máquina de absorción sería el mostrado a continuación en la Figura 2.

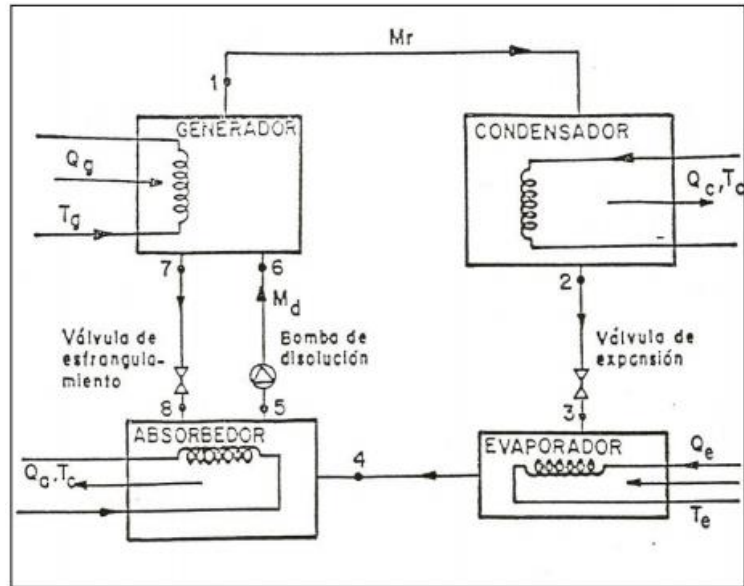


Figura 2. Máquina de absorción ideal. Tomada de Modelado y simulación de una máquina de absorción de doble efecto en una planta de refrigeración solar, por Salguero-Fernández, 2011, p. 17.

2.2.1.7 Coeficiente de desempeño (COP)

Es un valor que expresa cuan eficiente es un sistema, representando el calor que se extrae del ambiente frío sobre el trabajo que se realiza para poder extraer este calor. (Conno, 2019).

$$COP_{absorción} = \frac{\text{Salida deseada}}{\text{Entrada requerida}} = \frac{Q_L}{Q_{generador} + W_{bomba\ entrada}} = \frac{Q_L}{Q_{generador}} \quad (2.0)$$

Para poder hallar el COP máximo dentro de un sistema de refrigeración por absorción, es necesario suponer que el sistema es totalmente reversible, el ciclo completo no incluye irreversibilidades, tampoco transferencia de calor ya que se tiene una diferencia de temperaturas finita.

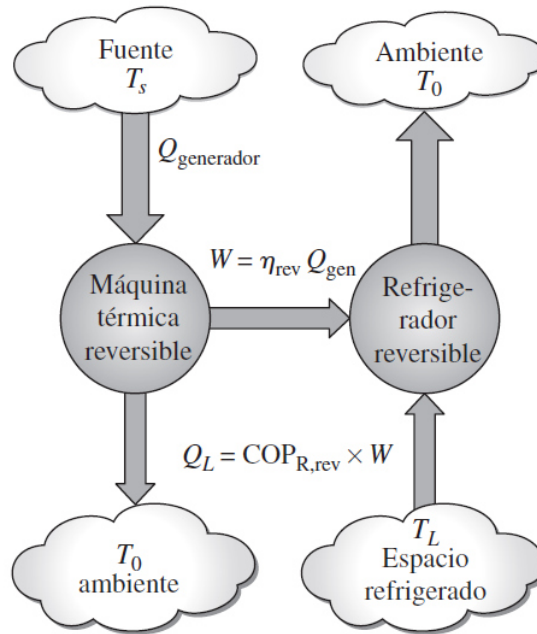


Figura 3. COP máximo de un sistema de refrigeración por absorción. Tomado de Yunus Çengel, 7ma edición p. 646.

El sistema reversible de refrigeración se da de la siguiente manera, el calor proveniente de la fuente $Q_{generador}$ es transferida a una maquina térmica reversible (Carnot), y este da a la salida trabajo $W = \epsilon_{rev} \cdot Q_{generador}$, que pasará a suministrar a un refrigerador reversible (Carnot) para poder extraer calor de T_L (espacio refrigerado). Con lo explicado tenemos que:

$$COP_{rev\text{ absorción}} = \frac{Q_L}{Q_{generador}} = \eta_{Ter\ rev} * COP_{Rrev} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_0 - T_L}\right) \quad (2.1)$$

T_L = Temperatura espacio refrigerado

T_0 = Temperatura ambiente

T_s = Temperatura de fuente de calor

2.2.2 Energías renovales

2.2.2.1 Definición

Es la energía obtenida de manera natural, puesto que es capaz de regenerarse de manera natural o cuentan con una enorme cantidad de energía, esta es implícitamente inagotable. Se encuentran en la naturaleza en cantidad ilimitada, además que se pueden generar de manera natural o artificial y además de esto no causa ningún daño al medio ambiente. En el Perú las energías renovables han tomado más presencia en los últimos años, la energía eléctrica, base para muchas tareas del día a día, es limitada en algunos pueblos de la sierra y selva, por lo que no llegan a estar interconectados, pero se tiene como alternativa la aplicación de la llamada energía renovable.

2.2.2.2 Energía solar en Perú

La energía solar, puede ser captada de diferentes maneras, una de ellas es mediante un colector solar, puede transformarse en energía térmica, en la siguiente tabla podemos observar la radiación UV proyectada en el mapa del Perú, explicando y demostrando la capacidad calórica en el Perú. Siendo la selva peruana con mayor incidencia de radiación solar y temperaturas más elevadas.

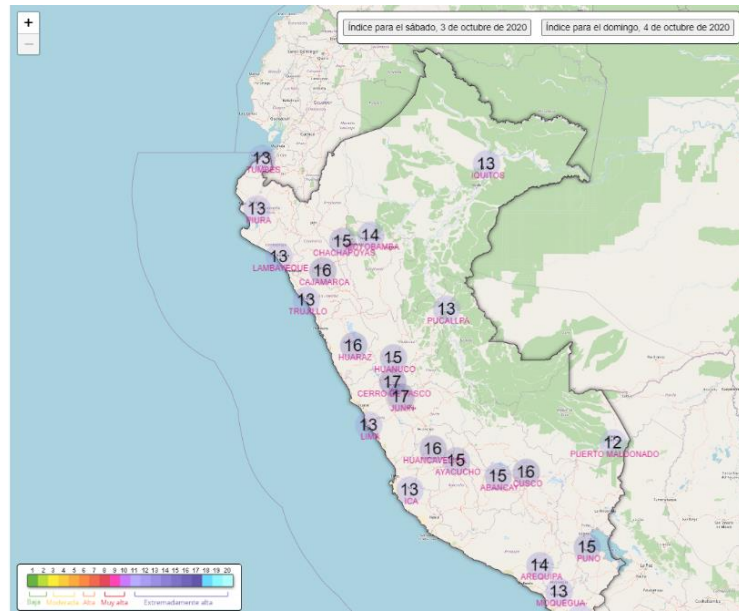


Figura 4. Mapa de temperaturas en el Perú. Tomada de Senamhi hasta el año 2016, disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=radiacion-uv>

Se puede observar en la figura 4, la variedad de temperaturas encontradas hasta el año 2016 donde se resume en altas temperaturas a nivel nacional gracias a la ubicación geográfica del Perú, siendo en la mayoría de los casos “extremadamente alta” como se llega a observar en la esquina inferior izquierda.

2.2.3 Cámaras frigoríficas

Es un espacio donde se ofrecen condiciones específicas en cuanto a la temperatura ya sea para procesos de fabricación y/o conservación, donde incluso pueden contar con puestos de trabajo a su interior, para la construcción de estas es importante determinar su tamaño y el sistema de aislamiento, para así proporcionar las condiciones deseadas con la menor pérdida de energía posible.

2.2.3.1 Tipos

2.2.3.1.1 Cámaras refrigerantes

Este tipo de espacios cuentan con temperaturas de 0°C a 10°C, en su mayoría para la conservación de alimentos, manteniendo la humedad de los mismos.

2.2.3.1.2 Cámaras congeladoras

Su rango de temperatura se encuentra entre los 0°C y -28°C, favoreciendo la humedad atmosférica, pudiéndose congelar productos que se encuentren dentro, como alimento y material orgánico.

2.2.3.1.3 Abatidores de temperatura

Preparados para reducir el riesgo de contaminación, para así no perder sus propiedades, pudiendo enfriar de manera rápida, en el rango de 90°C a 3°C.

2.2.3.1.4 Túneles de congelación

Formado por corrientes de frío para congelar producto por producto, pudiendo provocar temperaturas inferiores a -30°C, utilizados en su mayoría en la industria alimentaria.

2.2.3.2 Usos de cámaras frigoríficas

En la industria, son empleados para productos con necesidades especiales, algún proceso de fabricación o ingrediente susceptible a la temperatura ambiente, por lo que con estas cámaras se crea un ambiente idóneo para su desarrollo, En los laboratorios y farmacéuticos, son importante ya que garantizan que muchos de los ingredientes y procesos tengan condiciones adecuadas y así garantizar su adecuada producción, evitando también la descomposición y pérdida de valor estructural de los mismos.

2.2.4 Medicamentos termolábiles

Son aquellos medicamentos que requieren cadena de frío para poder conservarse y mantener su fórmula y actividad farmacológica de una manera óptima, ya que pueden descomponerse y perder efectividad, perturbando la seguridad de este, si no se respetase estas temperaturas que varían entre los +2 y +8 °C (ASEFARMA, 2019).

2.2.5 Sistema de refrigeración por Absorción Servel

En un sistema de refrigeración por absorción común, se requiere el uso de un sistema de bombeo, ya que es necesario para impulsar el refrigerante y la sustancia que sirve como medio de absorción, para estos casos son mayormente utilizados en plantas industriales o también en sistemas de climatizado. Pero para nuestro caso, de refrigeración de medicamentos, el dimensionado de la cámara frigorífica es menor, y el sistema de bombeo es más costoso y ocupa un mayor volumen en el espacio, además se requiere del consumo de energía eléctrica para poder accionarlo y mantenerse funcionando, para esto existe una solución llamada Absorción Servel, este modelo es muy práctico ya que reemplaza todo este sistema de la bomba, con el uso del hidrogeno, logrando así nivelar las presiones, lo que refleja que dentro del sistema los fluidos puedan circular en las tuberías del refrigerador.

Cuando solo se tiene la presencia del refrigerante (amoniaco) ocurre la condensación, dentro de la presión del sistema, en cambio, la evaporación sucede cuando los fluidos están en mezcla (Amoniac + Hidrogeno), de esta manera el amoniaco actúa a modo que si hubiera solamente una presión equivalente a la presión de la mezcla. Logrando la condensación del amoniaco a una determinada temperatura y su evaporación a una más baja, pero la Presión que existe en el sistema es igual en el evaporador y condensador, lográndose un sistema por absorción sin la necesidad de una bomba (Jones & Dugan, 1997).

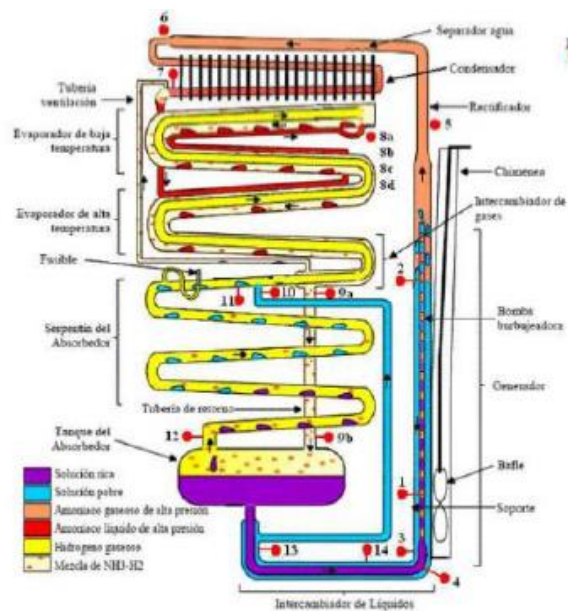


Figura 5. Nevera por absorción-difusión. Tomada de “Potencial de un sistema de refrigeración solar por absorción en zonas de alta irradiación en Colombia para cargas de refrigeración medicas y conservación de alimentos”, por Beltrán, J, 2018.

2.2.5.1 Sistema Servel convencional

En un Sistema Servel convencional, se cuenta como refrigerante el amoníaco y como medio absorbedor el Agua, siendo el generador el que absorbe calor, haciendo que salga vapor de amoníaco. En lugar de conseguir la separación de fluidos en el generador, su salida está orientada a empujar burbujas liquidas, procedentes del vapor del generador, hasta el separador. Desde este punto el vapor del separador se dirige al condensador, y el líquido absorbedor se va al separador. A partir de aquí, el amoníaco ya se encuentra en estado líquido, cae al evaporador, y es ahí donde coge calor y se vaporiza. Ya en el absorbedor, la solución que proviene del separador absorbe el vapor del evaporador. Seguido la mezcla regresa al generador y vuelve a empezar el ciclo.

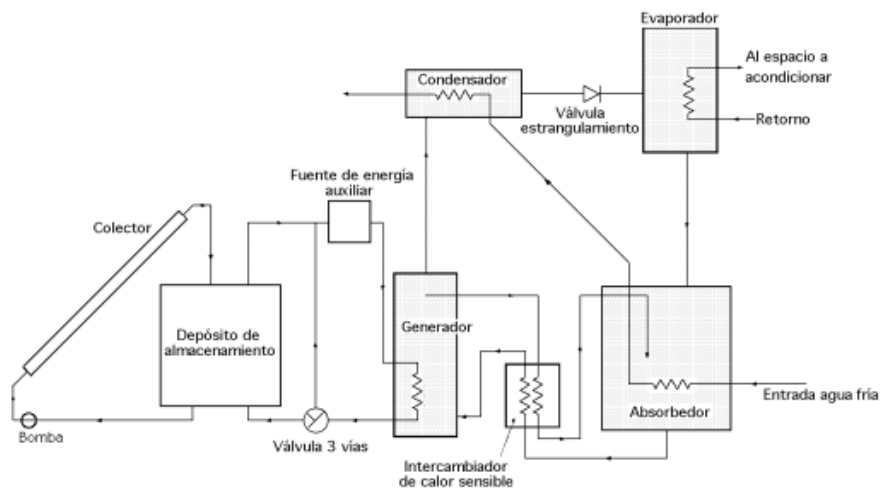


Figura 6. Sistema de Refrigeración por absorción Servel. Tomado de “Calentamiento de Agua, Calefacción y refrigeración por energía solar”, por Mendez, R, 2011.

El objeto del hidrógeno, que se encuentra en la parte del absorbedor y evaporador es proporcionar una presión, que al añadirse a la presión que tiene el amoníaco, nos resulta una presión total, que se iguala a la presión que tiene el amoníaco con el agua, en el generador y condensador (Beltrán, J., 2018).

En el evaporador, el amoníaco en estado líquido se puede evaporar a una temperatura baja ya que tiene una baja presión. Por otro lado, el hidrógeno en el condensador se condensa a una temperatura elevada para poder ceder calor al ambiente. En todos los puntos, la presión total es casi igual.

La circulación dentro del sistema se da gracias al vapor que hace efecto de bomba, elevando el líquido hasta el momento que pueda circular debido al efecto de la gravedad.

2.2.5.2 Análisis del sistema Servel

Para poder caracterizar este sistema se necesita realizar el análisis termodinámico de este ciclo por absorción. Realizando el dimensionados del sistema y los materiales para cámara frigorífica, para poder realizar el cálculo correspondiente de la carga térmica.

Primera ley de la termodinámica

Para poder analizar carga térmica, se tiene que ver la primera ley de la termodinámica.

$$Q = m * C_p * (T_f - T_i) \quad \left[\frac{KW}{h} \right] \quad (2.2)$$

Q= Representa el *calor sensible retirado del producto a refrigerar*.

m=Flujo másico de agua que se entra enfriando dado en Kilogramos.

C_p=Calor específico del agua.

T_f=temperatura final que se quiere llegar con el fluido.

T_i=Temperatura a la que se encuentra el fluido.

Este cálculo de carga tiene dependencia de la cantidad energética que se retira de los medicamentos dentro de la cámara frigorífica, sino también este cálculo depende de cuantas veces se apertura la cámara, conociéndose como infiltración.

Para poder calcular el efecto de Infiltración del aire en el sistema, sobre la pérdida del calor sensible, es calculada mediante el ingreso de aire por apertura de las puertas de la cámara.

$$Q_{s_{infiltr}} = 1.1 \times CFM \times \Delta T \quad (2.3)$$

Q_{s_{infiltr}} = Calor sensible que se añade por la apertura de las puertas.

CFM = Que tan veloz es la infiltración del aire

ΔT = Variación de temperaturas, entre el aire interior y exterior

Este efecto se da cuando a la cámara de refrigeración entra humedad, este adicional de humedad es calculada de la siguiente manera (Pita, Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 1994):

$$Q_{lat_{infiltr}} = 0.68 \times CFM \times (W_i' - W_p') \quad (2.4)$$

$Q_{lat_{infiltr}}$ = Calor latente

CFM = Que tan veloz es la infiltración del aire

$W_i - W_p$: Relación entre humedad exterior e interior

Para calcular que tan veloz en la infiltración del aire o tasa de infiltración tenemos (Pita, Acondicionamiento de Aire Principios y Sistemas, 1994):

$$CFM = C.A * \frac{Vol}{60} \quad (2.5)$$

Vol = Volumen de la cámara

$C.A$ =Número de infiltraciones por hora

Cálculo de carga total de Infiltración es dada por la siguiente ecuación:

$$Q_{T_{infiltr}} = \left(\frac{Q_{lat_{infiltr}} + Q_{sl_{infiltr}}}{\frac{BTU}{h}} \right) \times 0.0002930710 \quad (2.6)$$

2.2.5.3 Capacidad de absorción de calor del sistema Servel

El amoniaco al separarse del agua y quedándose en una fase gaseosa, con temperatura alta y presión elevada, esto es toda energía removida al interior de la cámara, esta energía es calculada junto al flujo masico obteniendo 0.01213 [KJ/s] y una capacidad de rechazo de calor de 86.01 [W]. (Beltrán, J., 2018).

2.2.6 Dimensionado de Cámara frigorífica

Según la Norma Técnica de Salud NTS N°136 - MINSA/2017/DGIESP tiene la finalidad de controlar, erradicar y eliminar las enfermedades que se pueden prevenir mediante el uso de vacunas, así optimizar procedimientos en el aspecto de cadena de frío, como un elemento indispensable e importante para poder lograr la protección de la población.

Para poder lograr este cometido se tiene que realizar con éxito el programa de vacunas, no solo que se cumpla de manera correcta el almacenamiento, el transporte y la

conservación; si no también; para tener en cuenta, el único método que permite garantizar eficacia e inmunogenicidad de protección de un medicamento termolábil es la cadena de frío.

2.2.6.1 Elementos dentro de la cadena de frío

Estos son recursos que intervienen en la cadena de frío, indispensables, conformado por lo siguiente: Recursos humanos, financieros, equipamiento e infraestructura. En el caso del proyecto de Investigación que se presenta, está proyectado a nivel Microred y Nivel local.

2.2.6.2 Almacenamiento de vacunas

El objeto es la conservación de los medicamentos, con el apoyo de equipos frigoríficos, que se encuentran precalificados, capaces de mantener una temperatura especificada.

2.2.6.2.1 Temperaturas de almacenaje

El rango de temperaturas para poder almacenar cualquier tipo de medicamento (vacunas) es entre +2 y +8 °C, para cualquier nivel de cadena de frío, a excepción de la Anti-poliamida - APO, cuya temperatura de conservación va de -15°C a -25°C.

VACUNAS	NACIONAL	REGIONAL	Red – Micro red - Local					
	Cámaras Frías	Cámaras Frías	Refrigeradores Ice lined o Solares					
	Almacén Nacional de Vacunas	Almacenes Regionales DIRESA GERESA DISA	Almacén RED Micro red Centro de Acopio	Instituto Hospital CS. PS				
	12 meses	6 meses	3 meses	1 mes				
APO	- 15° C a -25° C							
Anti pollo oral								
BCG (Bacilo Calmette Guenn) Vacuna Anti formas severas de Tuberculosis)	+ 2° A + 8° C							
HvB Hepatitis viral B								
IPV Polio virus inactivada								
ROTAVIRUS								
PENTAVALENTE (DPT, HvB, -Hib) Difteria, pertusis, Tétanos, Hepatitis viral B; Haemophilus Influenzae tipo b								
NEUMOCOCO								
SRP Sarampión, rubeola, parotiditis								
AMA Anti amarilla								
DPT Difteria, tétanos pediátrico								
dt Difteria, pertusis, tetano								
Influenza estacional								
VPH Virus papiloma humano								
LOS DILUYENTES NUNCA DEBEN CONGELARSE								

Figura 7. Tabla de temperaturas y almacenaje para vacunas. Tomada de "Guideline for stabilishng of improving primory and intermediate vaccine stores WHO/V&B/02-34" Adaptado por MINSA PERÚ, 2017.

2.2.6.3 Almacenamiento de vacunas

Las vacunas deben almacenarse en orden indistinto, pero dentro de canastillas, acomodadas de tal manera que exista una correcta circulación de aire, con una distancia de 1.5 cm entre la canastilla y las paredes internas de la cámara.

Algo para tomar en cuenta es la siguiente figura 8. donde nos muestra el cálculo del volumen de dosis de vacunas.

Vacuna	Empaque Secundario							Empaque Inmediato	Constante de conversión	Volumen por dosis (en litros)	
	Largo cm	x	Ancho cm	x	Altura cm	/	Caja N° de frascos				x
BCG		x		x		/		x		1000	
HvB pediátrico		x		x		/		/		1000	
IPV		x		x		/		x		1000	
APO		x		x		/		x		1000	
Rotavirus		x		x		/		x		1000	
Pentavalente		x		x		/		x		1000	
Neumococo		x		x		/		x		1000	
Influenza estacionaria pediátrica		x		x		/		x		1000	
SPR		x		x		/		x		1000	
AMA		x		x		/		x		1000	
DPT		x		x		/		x		1000	
DT pediátrico		x		x		/		x		1000	
dT adulto		x		x		/		x		1000	
Influenza estacionaria adulto		x		x		/		x		1000	
VPH		x		x		/		x		1000	
HvB adulto		x		x		/		x		1000	

Figura 8. Cálculo de volumen de dosis de vacunas del esquema nacional de vacunación. Tomada de NTS 497-2017 MINSA.

2.2.6.4 Dimensión y capacidad de refrigeración de la cava de almacenamiento

Para este proyecto se tomará como referencia el modelo de cámara para almacenamiento MK-404, pero con mayor capacidad para almacenar vacunas, siendo de 150 litros.



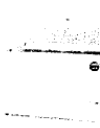

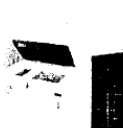
Capacidad para almacenar vacunas= 48 litros	Capacidad para almacenar vacunas= 75 litros	Capacidad para almacenar vacunas= 105 litros	Capacidad para almacenar vacunas= 135 litros	Capacidad para almacenar vacunas= 37.5 y 85 litros
				
Modelo MK-144	Modelo MK-204	Modelo MK304	Modelo MK404	Modelo VC65-2

Figura 9. Modelos de cámaras utilizadas y aprobadas por MINSA. Tomada de NTS 497-2017 MINSA.

Un volumen ideal para centros de salud, a nivel micro Red y Local, para lugares apartados e ideal para almacenar medicamentos necesarios, conforme al volumen poblacional de esos sectores.

2.2.7 Cálculos de transferencia de calor

2.2.7.1 Cálculo de transferencia de calor por red de resistencias térmicas

Tomaremos las paredes de la cava de refrigeración como paredes planas, estas constan de varias capas que la componen con distintos materiales. Para poder calcular la razón de transferencia de calor estacionaria, que pasa a través de la pared, se expresa como:

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}} \quad (2.8)$$

\dot{Q} = Flujo de calor o razón de transferencia

R_{total} = Resistencia térmica total

$$R_{total} = R_{conv_1} + R_{pared_1} + R_{pared_n} + \dots + R_{conv_2} \quad (2.9)$$

$$R_{conv_n} = \frac{1}{h_n * A} \quad (2.10)$$

R_{conv_n} = Resistencia térmica por convección

$$R_{pared_n} = \frac{L}{K * A} \quad (2.11)$$

R_{pared} = Resistencia térmica por pared

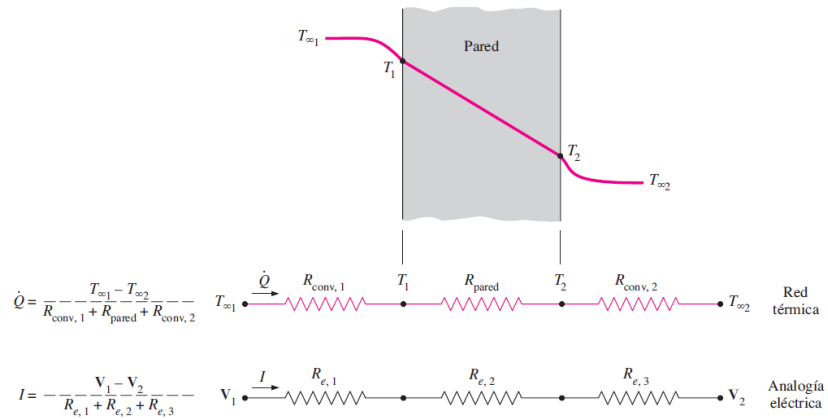


Figura 10. Red de resistencias térmicas para la transferencia de calor a través de una pared plana sujeta a convección sobre ambos lados, y la analogía eléctrica. Tomada de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición.

Expresaremos también la transferencia de calor como U, que significa coeficiente de transferencia de calor total.

$$U * A = \frac{1}{R_{total}} \left[\frac{W}{^{\circ}C} \right] \quad (2.12)$$

2.2.7.2 Cálculo de transferencia de calor por convección natural

Sobre las paredes de la cámara tenemos que determinar la razón de transferencia de calor, mediante cálculos de convección natural.

2.2.7.2.1 Cálculo de convección natural dentro de recintos cerrados

Para el visor, se necesita un material que sea aislante, pero a la vez que sea transparente. Pero encontrar un material aislante y que sea transparente a la vez.

Existe un examen en cuanto a lo que es la conductividad de calor, en materiales aislantes, que dice el aire es un mejor aislador, que la mayoría de estos. Que se conoce también como ventana de doble hoja. Lo que da resultado un recinto cerrado.

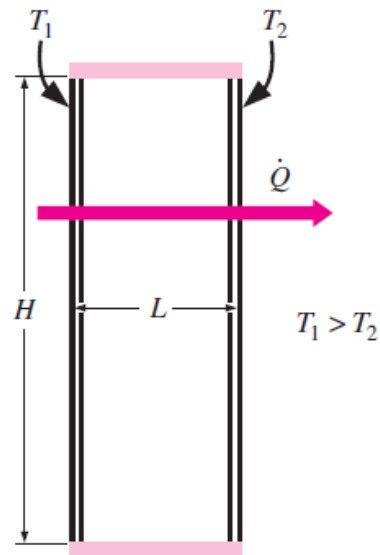


Figura 11. Recinto cerrado rectangular vertical. Tomada de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición, p.541.

Las ecuaciones deben ser evaluadas a la temperatura promedio $(T_1 + T_2)/2$.

$$Ra_L = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_1 - T_2) \cdot L_c^3}{\nu^2} \cdot Pr \quad (2.14)$$

Ra_L = Número de Rayleigh

g = Aceleración de la gravedad

β = Coeficiente de expansión volumétrica

L_c = Longitud característica

ν = Viscosidad cinemática

Pr = Número de Prandtl

$$Nu = 0.42 \cdot Ra_L^{\frac{1}{4}} \cdot Pr^{0.012} \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.3} \quad 10 < \frac{H}{L} < 40 \quad (2.15)$$

$$1 < Pr < 2 \cdot 10^4$$

$$10^4 < Ra_L < 10^7$$

$$Nu = 0.046 * Ra_L^{\frac{1}{3}} \quad 1 < \frac{H}{L} < 40 \quad (2.16)$$

$$1 < Pr < 20$$

$$10^6 < Ra_L < 10^9$$

Nu = Número de Nusselt

Ra_L = Número de Rayleigh

Pr = Número de Prandt

H = Alto

L = Largo

$$\dot{Q} = h * A * (T_1 - T_2) = k * Nu * A_s * \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2.17)$$

\dot{Q} = Flujo de calor

k = Conductividad

A_s = Área superficial

L = Largo

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon_{efectiva} * \sigma * A_s * (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.18)$$

$\varepsilon_{efectiva}$ = Emisividad efectiva

σ = Constante de Stefan-Boltzmann

A_s = Área superficial

$$\varepsilon_{efectiva} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad (2.19)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.84$$

2.2.7.2.2 Blindaje contra la radiación

Como se tiene dos superficies paralelas, en este caso las dos planchas de vidrio una frente a la otra, y al tener un gas en el medio, la radiación se vuelve importante en los cálculos de razón de transferencia de calor, ya que el material en este caso, vidrio, es de alta emisividad, pero los resultados finales de transferencia, se ve que se tiene un flujo relativamente alto a los resultados que queremos, por esto es necesario e importante colocar un blindaje contra la radiación.

Este consiste en insertar una delgada lámina de un material que tenga alta reflectividad, es decir, baja emisividad. Esas placas o también denominados cascos delgados con alta reflectividad, llamados blindajes contra la radiación, con el objetivo de reducir la transferencia de calor ab través de las capas de vidrio y el gas, esta lámina cumple como resistencia adicional, al flujo de calor, mientras se tenga un material con menor emisividad se tendrá, por consecuente, mayor resistencia.

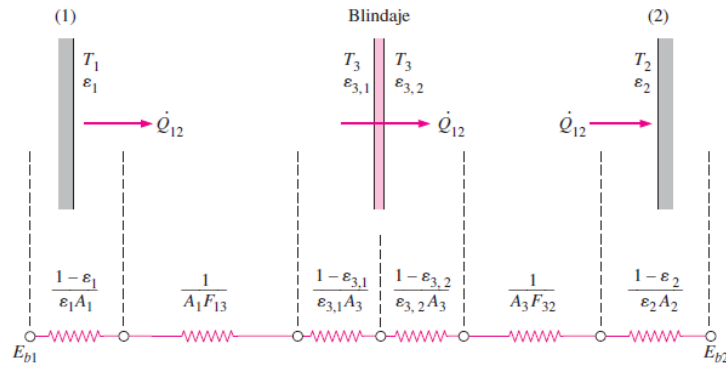


Figura 11. Blindaje contra la radiación, entre dos placas. Tomado de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición, p.761.

Se puede observar esto, como una serie de resistencias, tal como lo muestra la Figura 12.

Para este caso se tiene que $F_{13} = F_{32} = 1$ y $A_1 = A_2 = A_3 = A$ y se da que la razón de transferencia de calor se halla con la siguiente ecuación:

$$\dot{Q}_{blindaje} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_{3.1}} + \frac{1}{\varepsilon_{3.2}} - 1\right)} \quad (2.20)$$

$\sigma = \text{Constante de Stefan - Boltzmann} .$

$\varepsilon_n = \text{Emisividad } n$

Emisividades de algunos materiales a 300 K

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel humana	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

Figura 12. Tabla de emisividades de materiales. Tomado de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición, p.28.

2.2.7.3 Cálculo de espesor del aislante

para una temperatura media de 27 °C

Material	Espesor, L mm	Densidad, ρ kg/m ³	Conductividad térmica, k W/m · K	Calor específico, c_p kJ/kg · K	Valor R (para los espesores de la lista, L/k), K · m ² /W
Colcha y lámina					
Fibra mineral (forma fibrosa)	50 a 70 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.23
procesada a partir de roca, escoria o vidrio)	75 a 90 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	1.94
	135 a 165 mm	4.8-32	—	0.71-0.96	3.32
Tablero y losa					
Vidrio celular		136	0.055	1.0	—
Fibra de vidrio (ligamento orgánico)		64-144	0.036	0.96	—
Poliestireno expandido (bolitas moldeadas)		16	0.040	1.2	—
Poliuretano expandido (R-11 expandido)		24	0.023	1.6	—
Perlita expandida (ligamento orgánico)		16	0.052	1.26	—
Caucho expandido (rígido)		72	0.032	1.68	—
Fibra mineral con aglomerante de resina		240	0.042	0.71	—
Corcho		120	0.039	1.80	—
Rociado o formado en el sitio					
Espuma de poliuretano		24-40	0.023-0.026	—	—
Fibra de vidrio		56-72	0.038-0.039	—	—
Uretano, mezcla de dos partes (espuma rígida)		70	0.026	1.045	—
Gránulos de lana mineral con aglomerantes de asbesto/inorgánico (rociado)		190	0.046	—	—
Relleno flojo					
Fibra mineral (de roca, escoria o vidrio)	~ 75 a 125 mm	9.6-32	—	0.71	1.94
	~165 a 222 mm	9.6-32	—	0.71	3.35
	~191 a 254 mm	—	—	0.71	3.87
	~185 mm	—	—	0.71	5.28
Aerogel de sílice		122	0.025	—	—
Vermiculita (expandida)		122	0.068	—	—
Perlita (expandida)		32-66	0.039-0.045	1.09	—
Aserrín o virutas		128-240	0.065	1.38	—
Aislamiento celulósico (papel molido o pulpa de madera)		37-51	0.039-0.046	—	—
Aislamiento para techo					
Vidrio celular	—	144	0.058	1.0	—
Preformado, para usarse arriba del tablero	13 mm	—	—	1.0	0.24
	25 mm	—	—	2.1	0.49
	50 mm	—	—	3.9	0.93
Aislamiento reflector					
Polvo sílice (al vacío)		160	0.0017	—	—
Hoja de aluminio separando colchones de vidrio esponjoso; 10 a 12 capas (al vacío); para aplicaciones criogénicas (150 K)		40	0.00016	—	—
Hoja de aluminio y laminado de vidrio y papel; 75 a 150 capas; para aplicaciones criogénicas (150 K)		120	0.000017	—	—

Figura 12. Propiedades de materiales aislantes. Tomada de “Transferencia de calor y masa”, por Çengel, Y. y Boles, M, 4ta edición, p.874.

Para determinar el coeficiente de convección del aire se usará una estimación realizada en laboratorio en el instituto tecnológico de Mexicali. (Seufert J, 2015)

Proceso	h (W/m²· K)
<i>Convección libre</i>	
<i>Gases</i>	2 – 25
<i>Líquidos</i>	50 – 1,000
<i>Convección forzada</i>	
<i>Gases</i>	25 – 250
<i>Líquidos</i>	50 – 20,000
<i>Convección con cambio de fase</i>	
<i>Ebullición o condensación</i>	2,500 – 100,000

Figura 11. Valores Típicos de transferencia de calor por convección. Tomada de “Estimación de coeficiente por convección”, por Seufert, J. Practica #13, p.2.

2.3 Definición de términos básicos

a) Solución

Llamada también disolución, en el ámbito químico es la mezcla homogénea, en un nivel molecular, de más de dos sustancias, esta se conforma por un disolvente y solutos, sea uno o más de uno, como, por ejemplo; cuando se prepara una taza de café, el azúcar y el café son los solutos y el agua hervida toma el papel de solvente.

b) Condensación

Es el proceso físico por el cual la sustancia pasa de un estado gaseoso a líquido, este proceso se origina gracias a una gran cantidad de energía que lleva por nombre “calor latente”, además también intervienen otros factores como lo son la presión y la temperatura.

c) Cadena de Frio

Hace referencia al control de temperatura de un producto, garantizando al consumidor que el producto ha sido conservado en todo el proceso en un intervalo de temperaturas adecuada, (transporte, almacenamiento y venta) conservando sus propiedades y calidad.

d) Absorción Térmica

La radiación solar juega un papel importante, ya que calienta el cuerpo sobre el que incide, este absorberá el calor, dependiendo de su composición, por ejemplo, si el cuerpo es reflectante, no se calentará nada, es decir el calor será refractado, pero si el cuerpo es de un color oscuro (negro) absorberá todo el calor y no emite luz visible.

e) Exotérmica

Una reacción exotérmica es conocida en el mundo de la química como aquella reacción que desprenda energía, en cualquier forma a sea de luz o de calor, así mismo comuna variación negativa de entalpia, por ejemplo, una transición de gas a líquido es considerada exotérmica, o como la combustión, y lo que podemos percibir es el aumento de temperatura alrededor. (Daub, 2005)

f) licuefacción

Licuefacción o licuación en los gases, es un cambio de estado que ocurre cuando el gas en mención pasa a estado líquido, gracias al aumento de presión y la disminución de temperatura. (Zamora, 2004)

g) Calor

Es la energía térmica que se transfiere por el hecho de tener dos sistemas a temperaturas diferentes, que en un momento entran en contacto, describiéndose con la letra Q o q, su unidad es Joule, también es llamada, energía de tránsito. Se transfiere o intercambia del sistema que esta con mayor temperatura al de menor temperatura. (Kotz, J. et al., 2015)

h) Temperatura

Es una magnitud física que da a entender el nivel o el grado térmico que un cuerpo o el ambiente tiene, refiriéndose a calor. Está relacionado directamente, en un sistema termodinámico, con la energía interna, la energía cinética de los átomos en un sistema (RAE: *Diccionario de la lengua española*, 23.^a ed., [versión 23.3 en línea]).

i) Simulación

Se refiere a la acción de Imitar, de manera de que se puede modelar sistemas, en un computador, intentando modelar contextos reales por medio de un software, para ser estudiado, con la particularidad de que tenemos control sobre las variables y también sobre el medio, asemejándose al real, pero acondicionado de manera artificial. (Pérez y Merino, 2014).

j) Diseño

Se le denomina diseño a la “preconfiguración”, con el fin de solucionar algún problema habitualmente encontrado en áreas como (industria, ingeniería, arquitectura y comunicación) también en áreas donde se requiera la creatividad, para que un diseño sea amigable, tanto con el usuario como el medio en el que se desenvolverá, es importante tomar en cuenta aspectos como (funcionalidad, operatividad, eficiencia, y su vida útil).

k) Calor sensible

Es la energía que un cuerpo u objeto recibe y hace que su temperatura cambie, pero sin que exista un cambio en su estructura molecular, es decir sin cambiar de estado.

l) Calor latente

Es la energía que se requiere para que un objeto o cuerpo cambie su estado, ocasionando el cambio de fase de este.

m) Infiltración

Es el efecto que ocurre cuando se abre las puertas de un refrigerador o en este caso la cámara frigorífica, ocasionando la entrada de aire del exterior lo que lleva a aumentar la carga térmica dentro de la cámara de enfriamiento.

n) Vacunas

Las vacunas son medicamentos obtenidos a partir de microorganismos, una gran mayoría de ellas, protegen a la persona de una enfermedad concreta y por otra parte hay unas múltiples, que protegen más de una enfermedad, cada día las personas padecen menos enfermedades que son infecciosas graves, gracias a las vacunas (Llovet, 2016).

o) Número de Prandtl

El número de Prandtl es adimensional, se precisa como la relación que hay entre la difusividad de impulso y la térmica o difusividad molecular del calor, este número depende solamente del fluido y el estado en que se encuentra, es decir que indica cuanto movimiento como de calor, son difundidos por el fluido. Nos indica sobre las capas térmica con relación a la capa de velocidad, cuanto mayor sea esta capa térmica se difundirá más rápido el calor en el fluido.

p) Número de Rayleigh

Este número se obtiene por la multiplicación entre el número de Grashoff y Prandtl.

q) Número de Nusselt

Es un número adimensional, que da la relación de transferencia de calor por convección en el fluido, con el que existe solamente por conducción. Por esto, cuanto mayor sea este número de Nusselt, mayor será la eficacia de convección.

r) Emisividad

También llamado con coeficiente de emisividad, este número adimensional, relaciona que tan fácil es para un objeto, irradiar energía térmica, con la capacidad que tiene un cuerpo negro.

s) BTU

BTU es una unidad de medida para la energía (British Thermal Unit). Define cuanto calor hace falta para subir la temperatura en 1°F para 1Lb de agua. En un dispositivo de refrigeración, los BTU indican la capacidad de enfriamiento del sistema.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación es tecnológica, fundamentada en el método científico, reflejado en desarrollos tecnológicos y estos, orientados a generar innovación, buscando aplicaciones prácticas para la mejora o diseño de un equipo, maquinaria, proceso o un producto, contribuyendo así, al desarrollo de tecnologías para cubrir necesidades de una empresa o una nación. (Carmona, 2011)

El diseño de una cámara frigorífica, mediante un sistema de refrigeración por absorción es una gran alternativa muy versátil ya que estaríamos adaptando de manera intencional, un diseño convencional, a las condiciones de zonas amazónicas del país, para alcanzar un fin, en este caso la conservación de medicinas.

3.2 Nivel de investigación

La investigación aplicada recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en

investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad. (Murillo, 2008).

En el trabajo de investigación se aplicarán diversos conocimientos basados en Termodinámica, transferencia de calor, manejo de simuladores por elementos finitos y física que son necesarios para el diseño de la cámara frigorífica para almacenamiento de medicamentos mediante un sistema de refrigeración por absorción, es por ello por lo que la investigación es de alcance aplicativo.

3.3 Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

Para el desarrollo del trabajo de investigación planteado, se usarán las bases ya conocidas de la norma alemana VDI 2221 y VDI 2225 aplicado principalmente en lo que respecta al concepto de solución, así como el análisis técnico económico, para complementar y escoger el diseño de la cámara, se realizara el estudio del estado del arte, para luego realizar la evaluación de los diferentes componentes con la memoria de cálculo del proyecto.

3.3.1 Estado del arte

En el estado de arte se encuentra una base de información relacionada a los diferentes desarrollos que existen actualmente acerca del tema, tanto como desarrollos que se encuentran en el mercado, lo que facilita la elaboración del diseño del proyecto y su futura concepción.

3.3.2 Metodología VDI 2221

La metodología VDI 2221, está enfocada sistemáticamente al diseño de sistemas y productos técnicos, esta metodología lo que nos propone son siete etapas básicas, planteadas. Principalmente lo que hace es analizar y entender el problema a profundidad, muy útil al momento de realizar diseños, productos, pero para lo que realmente es útil es para la mejora o el rediseño de estos (Gómez, 2018).

3.3.3 Estructura de la metodología VDI 2221

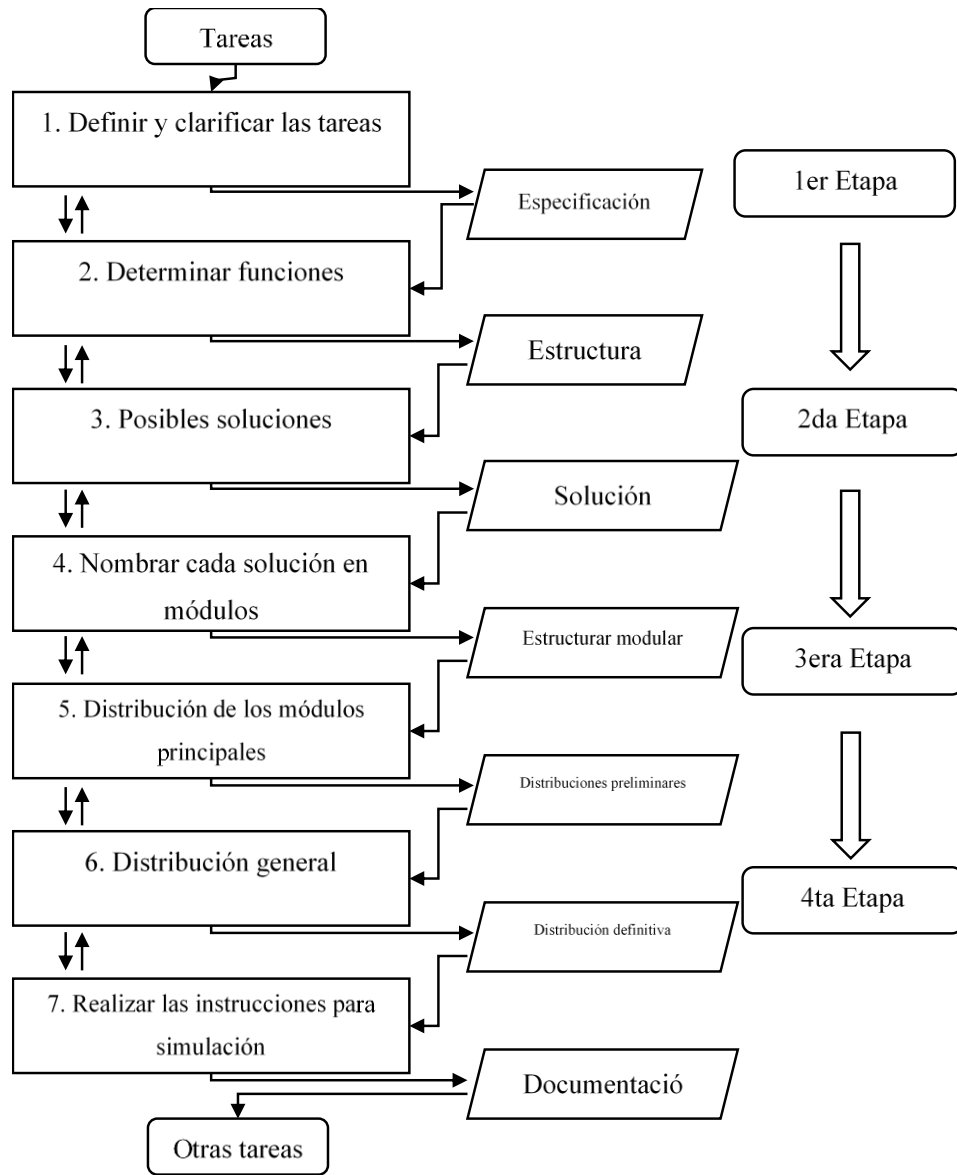


Figura 13. Estructura de la metodología VDI 2221 Adaptado de “Metodología de diseño de máquinas apropiadas para contextos de comunidades en desarrollo de Romero”, por Elena 2018.

3.3.4 Definir y clarificar tareas

En este apartado se realizará una Lista de Exigencias, que será detallada más adelante, basándonos en los requerimientos que los clientes o solicitantes consoliden. Se tendrá en cuenta, las exigencias y los deseos.

Tabla 2. Modelo de tabla para realizar “Lista de Exigencias”.

LISTA DE EXIGENCIAS		Página:	
		Edición: Rev. 1	
PROYECTO	” DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA POR ABSORCIÓN EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR Y GAS NATURAL PARA LA CONSERVACIÓN DE MEDICINAS EN COMUNIDADES ALEJADAS DEL PERÚ”	Fecha: 12/10/20 Revisado: SR	
Ciente	CENTROS DE SALUD	Elaborado: Manchego C. y Vera J	
FECHA	D/E	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE(S)
		Función principal:	
		Geometría:	
		Cinemática:	
		Energía:	
		Materia prima:	
		Señales:	
		Control y electrónica:	
		Software:	
		Comunicaciones:	
		Seguridad:	
		Ergonomía:	
		Montaje:	
		transporte:	
		Uso:	
		Mantenimiento:	
		Costos:	
		Plazos:	

Nota: Adaptada de “Diseño conceptual y selección de concepto”, por Moreno, 2015.

3.3.5 Determinar funciones

Para establecer la estructura de funciones se realizará la caja negra mostrando y organizando funciones del diseño, esta será señalada la secuencia de operaciones.



Figura 14. Modelo de caja negra. Tomada de "Diseño conceptual", por Hernández J, 2006.

3.3.6 Posibles soluciones

3.3.6.1 Elaboración de matriz morfológica

La matriz morfológica se caracteriza por generar varias soluciones y poder relacionarlas entre sí para tener una visión clara de lo que se va a realizar como solución fina

Tabla 3. Base para Matriz Morfológica.

FUNCIONE	ALTERNATIVAS Y PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN				
	1	2	3	...	n
S					
1.	S11	S12	S13	...	S1n
2.	S21	S21	S23	...	S2n
3.	S31	S23	S33	...	S3n

N	Sn1	Sn2	Sn3	...	Snn

Nota: Tabla de guía donde se detallan alternativas de solución. Por De la Cruz, 2016, p. 6.

3.3.6.2 Nombrar cada solución en módulos

Para la selección de la solución más adecuada cada una de las opciones brindadas por el desarrollo del cuadro deben ser establecidas de acuerdo con la lista de exigencias y la alternativa más conveniente.

3.3.7 Distribución general

La conceptualización final de la solución más adecuada debe ser bosquejada para su comprensión y realización posterior, es recomendable el uso de software para el bosquejo, ya que brindara una visión más clara de la solución.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

4.1 Estado del arte

4.1.1 Arte Internacional.

- **Cámara frigorífica de laboratorio Thalheimer Kühlung GmbH & Co KG modelo GK-B, LK-B**

Thalheimer Kühlung GmbH & Co KG es una marca alemana especializada en equipos de enfriamiento como lo son cámaras frigoríficas, máquinas para hielo, unidades de refrigeración a medida del usuario, así como refrigeradores médicos y bancos de sangre, entre sus variados modelos y servicios encontramos al GK-B, LK-B, con un formato refrigerador.



Figura 15. Cámara frigorífica de laboratorio modelo GK-B, LK-B. Tomado de “Thalheimer Kühlung GmbH & Co KG” por Thalheimer Kühlung en <http://thalheimer-kuhlung.com/en/catalogues/>

El modelo presentado, cuenta con una capacidad de refrigeración de 4°C o 39.2 °F, es una cámara tipo armario que cuenta con diferentes gabinetes para la organización y clasificación de bolsas de sangre o fármacos, sus capacidades son de 100 l, 300 l, 500 l, 800 l (26,4 gal), la estructura de este es de acero inoxidable, cuenta con ruedas para su desplazamiento y como extra, la descongelación automática.

- **Cámara frigorífica de laboratorio A.C.F. Italia srl modelo AF170E**

A.C.F. Italia srl, empresa italiana dedicada a la refrigeración farmacéutica y cualquier requerimiento en el área de la salud, así como productos médicos, en su catálogo encontramos la fabricación de frigoríficos, congeladores y abatidores de hasta -40°C



Figura 16. Cámara frigorífica de laboratorio modelo AF170E. Tomado de “ACF. Italia E.I.R.L” por ACF en <https://www.medicalonline.it/>.

La cámara frigorífica cuenta con un tamaño pequeño de 598 x 670 x 1000 mm, lo necesario para conservar tanto bolsas de sangre como medicamento en óptimas condiciones, trabajando a una temperatura de 4°C, su recubrimiento en aislante es +de 50 mm, cuenta con un ventilador de aire forzando así la refrigeración.

- **Cámara frigorífica de laboratorio Tritec modelo TC501**

En Tritec, ubicada en Alemania, especialistas en el diseño de cámaras para la conservación de sangre, su calidad de construcción y temperatura constante y confiable son características que poseen, en el modelo TC501 encontramos un tamaño intermedio de tipo armario



Figura 17. Cámara frigorífica para banco de sangre modelo TC501. Tomado de “trictec-Klima” por trictec, p. 1.

Para esta cámara frigorífica se requieren 110w con un consumo de 1.1 Kw (24 horas), contando con un tamaño intermedio de 65x72x102 cm y un peso de 80kg, cuenta además con una pantalla táctil de 5” para configuraciones de temperatura y selección de energía, además de contraseña para evitar usos no deseados, todos los datos pueden ser exportados vía USB o vía internet.

4.1.2 Arte nacional.

- **Cámaras frigoríficas de temperatura positiva Frio sistemas**

En frio sistemas se encargan de ensamblar y adaptar sistemas de cadena de frio para industrias como lo son de salud, comida y demás necesidades de ambientes fríos, con una conservación de hasta 0°C, trabajan con materiales como poliuretano o poliestireno expandido.



Figura 18. Cámara frigorífica. Tomado de “Frio sistemas”, por Frio sistemas en <http://www.friosistemas.com/equipo/camaras-frigorificas-de-temperatura-positiva/>.

Para la empresa es importante el mantener un perecible en buenas condiciones, por lo que las características de cada cámara varían de acuerdo con las necesidades del cliente, y así generar una solución adecuada.

4.2 Identificación de requerimientos

4.2.1 Definir y clarificar tareas

Para poder definir y clarificar las tareas es necesario responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuál necesidad a cubrir?
- ¿Qué características y cualidades debe tener la alternativa de solución planteada?
- ¿Qué no debe tener como característica y cualidad la alternativa planteada?

Para el completado del formulario es necesario tomar en cuenta los deseos y las exigencias en un orden ya establecido para los diferentes aspectos

Tabla 4. Lista de exigencias.

Lista de exigencias. LISTA DE EXIGENCIAS		Página:
		Edición: Rev. 1
PROYECTO	” DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA POR ABSORCIÓN EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR Y GAS NATURAL PARA LA CONSERVACIÓN DE MEDICINAS EN COMUNIDADES ALEJADAS DEL PERÚ”	Fecha: 12/10/20
		Revisado: SR
Cliente		Elaborado: Manchego C. y Vera J RESPONSABLE(S)
FECHA	DESCRIPCIÓN	
A	E	
E	Función principal: -Aislar y conservar los medicamentos del ambiente.	Manchego C y Vera J
E	Geometría: La cámara frigorífica no deberá exceder 1500 x 700 x 700 milímetros, además de contar con una capacidad de 150L	Manchego C y Vera J
E	Materia prima: -Acero Inoxidable 430, y aislantes actuales en el mercado	Manchego C y Vera J
E	Señales: - Indicadores de temperatura y luz interior.	Manchego C y Vera J
E	Uso: - En zonas de alta incidencia solar, y necesidad de conservación de temperatura.	Manchego C y Vera J
E	Mantenimiento: - Un usuario de la cámara frigorífica podrá realizar la, limpieza, así como reemplazo de organizadores.	Manchego C y Vera J
D	Costos: - El costo de diseño no deberá ceder los 1000 mil soles	Manchego C y Vera J
D	Plazos: - El plazo de entrega del diseño será de 12 semanas a partir del 20 de agosto 2020	Manchego C y Vera J

Nota: Elaboración propia.

4.3 Determinar funciones

4.3.1 Elaboración de la caja negra

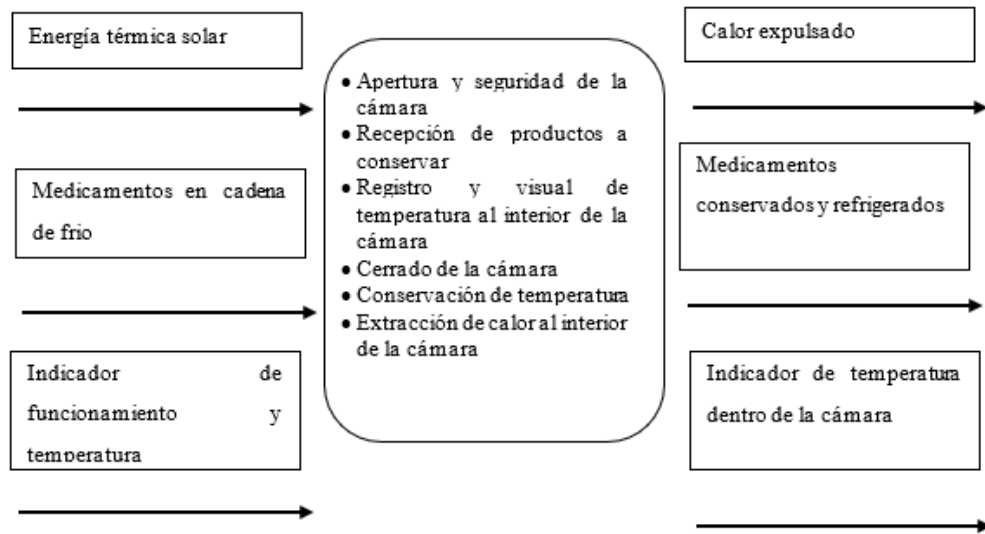


Figura 19. Caja negra, para diseño de cámara frigorífica. Elaboración propia.

Entrada

Materia: Medicamentos en cadena de frío, estos llegan con una temperatura baja que hay que mantener entre 2 a 8°C.

Energía: La energía para que suceda la extracción de calor al interior de la cámara es la energía térmica del sol.

Señal: Se indicará la temperatura al interior de la cámara.

Salida

Materia: Medicamentos aun en cadena de frío, correctamente aislados y con temperaturas estables.

Energía: La energía residual será emitida en forma de calor al ambiente.

Señal: Se indicará la temperatura de la cámara frigorífica.

Secuencia de operaciones

Se han reconocido los siguientes procesos básicos:

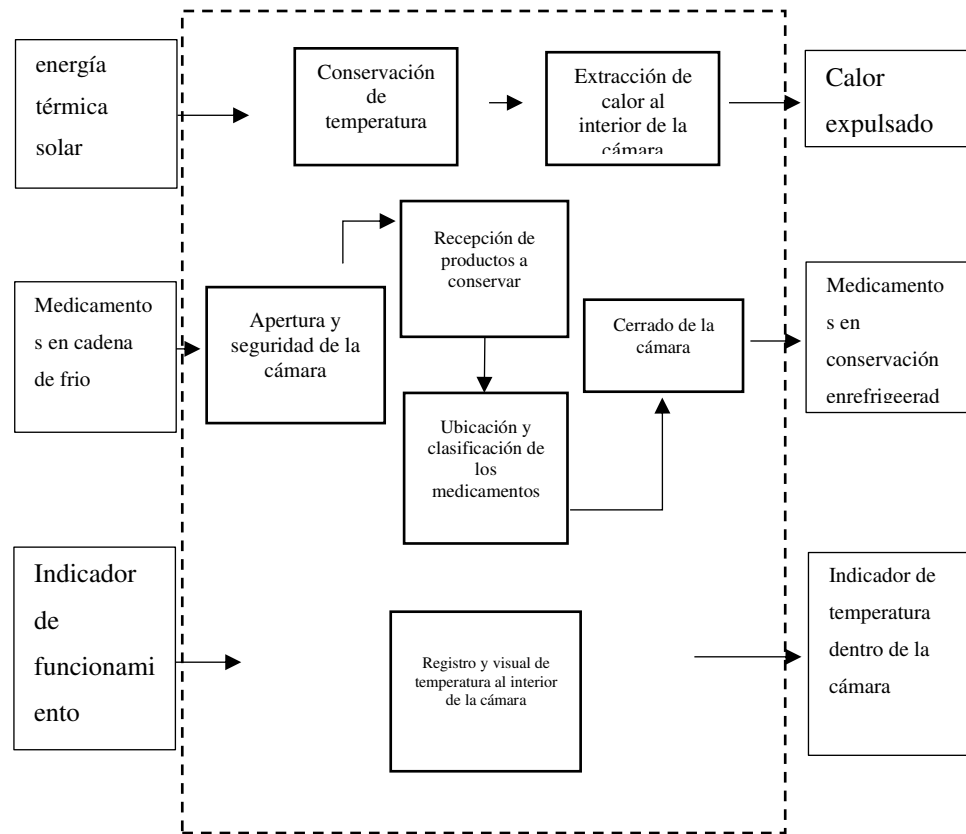


Figura 20. Secuencia de operaciones para diseño de cámara frigorífica. Elaboración propia.

- Apertura y seguridad de la cámara: para que el usuario pueda acceder, al interior de la cámara, es importante, contar con un sistema de seguridad y apertura.
- Recepción de productos a conservar: para facilitar al usuario la recepción de los medicamentos, para su posterior clasificación.
- Registro y visual de temperatura al interior de la cámara: es importante tomar la temperatura al interior de la cámara, para llevar un control de la temperatura requerida.
- Ubicación y clasificación de medicamentos: para poder rotular y dividir los diferentes medicamentos dentro de la cámara.

- Cerrado de la cámara: para el movimiento libre de la puerta, en la apertura y cerrado de la misma.
- Conservación de temperatura: Evitar que el calor del ambiente ingrese a la cámara, y poder aislarlo del exterior.
- Extracción de calor al interior de la cámara: para la extracción, del calor en el interior de la cámara y así lograr reducir la temperatura se aplicará un sistema de refrigeración.

4.4 Posibles soluciones

4.4.1 Solución principal

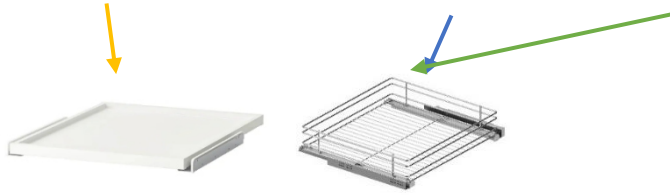
Matriz morfológica

La matriz morfológica, tiene el fin de comparar las diferentes soluciones planteadas y poder definir cuál de ellas será la mejor a usar, buscando opciones de trabajo para cada proceso en mención, a continuación, en la tabla se desarrolla el proceso de elección para las alternativas de solución.

Tabla 5. Matriz Morfológica

FUNCIONES	ALTERNATIVAS Y PRINCIPIOS DE SOLUCIÓN		
	Concepto de solución 1	Concepto de solución 2	Concepto de solución 3
Apertura de la puerta hermética	 <p>Cerradura con clave</p>	 <p>Cerradura con llave</p>	 <p>Cerradura mediante palanca</p>

Recepción del producto



Bandeja de plástico retráctil

Bandeja de acero inoxidable

Registro y visual de temperatura



Medición manual



Medición termómetro tipo reloj



Medidor y visual modelo ZL-6210A a

Ubicación y clasificación de los medicamentos



Gavetas con divisiones cuadradas



Gavetas con divisiones circulares

Cerrado de cámara



Bisagras retráctiles



Bisagras acero AISI 1020

Conservación de temperatura



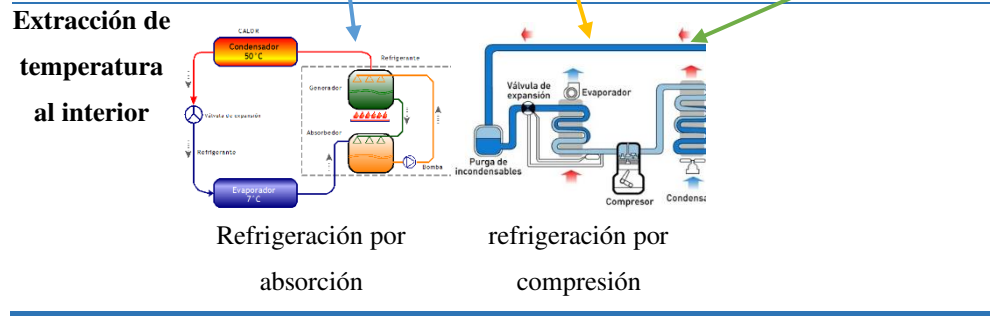
Corcho

expandido/Poliestireno Uretano/caucho

expandido rígido/Aero gel

expandido/caucho
expandido rígido

Espuma de poliuretano/Fibra de vidrio/Cacho expandido rígido



Nota: Alternativas y principios de solución. Elaboración propia.

En los tres conceptos de solución se contempla el uso de acero inoxidable AISI 430 lamina de menos de 2mm de espesor, por un tema estético y sanitario, además de las propiedades de manufactura pertenecientes a este acero, las dimensiones planteadas de 600mm x 600mm x 1000 mm y constaran de una puerta de vidrio de doble pared, separada en medio por una delgada capa de aire, sellada con juntas de goma alrededor de la puerta.

4.5 Nombrar cada solución en módulos

Concepto de solución 1

Para el concepto de solución 1, se aplicará considera una cerradura, de tipo electrónica con un PIN de seguridad, capaz de mantener seguros los medicamentos, además de restringir su acceso a personas no autorizadas, para la recepción del producto se contara con una bandeja plástica extraíble en la parte derecha de la cámara, esta permitirá mayor facilidad de ingreso de medicamentos, para el usuario final, Para el registro de temperatura se realiza de manera manual con un pirómetro, en concreto el modelo AN550 capaz de mostrar temperatura en el rango de -50°C a 550°C , para la clasificación del medicamentos se colocara los separadores, en forma circular, en cuando al movimiento de la pureta cuenta con bisagras retractiles, es aislamiento a usar en este concepto será el Corcho

expandido, Poliestireno expandido y caucho expandido rígido, por sus propiedades aislantes de según, (Çengel y Ghajar, 2011), finalmente para la extracción de calor, se usara el sistema d refrigeración por compresión, es decir un ciclo clásico de refrigeración, el diseño final se puede observar en la figura N°21

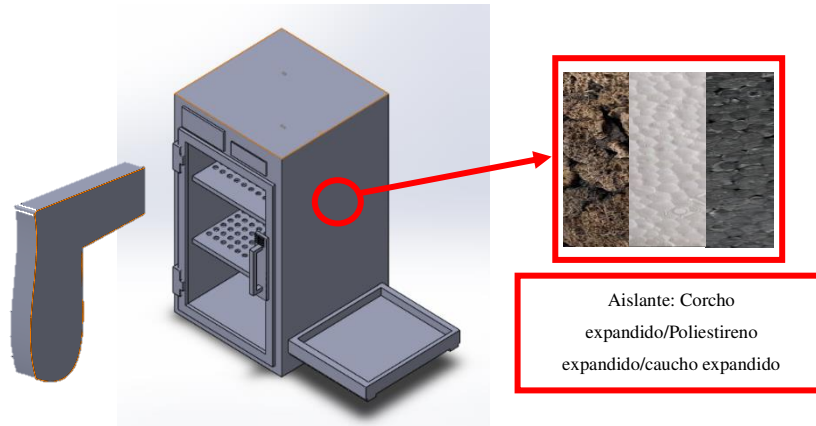


Figura 21. Concepto de solución 1. Elaboración propia.

Concepto de solución 2

Para el concepto de solución 2, contara con una cerradura tipo chapa, para su apertura con llave, y al igual que el primer concepto evitar el acceso a personas no autorizadas, contando para la recepción del producto, una bandeja de acero inoxidable, capaz de ser extraída manualmente al estar la puerta abierta, para registrar y visualizar la temperatura la temperatura al interior se contempla el uso del medidor ZL-6210Aa, para la clasificación de medicamentos se realizara el diseño de pequeñas gavetas en forma cuadrada, a los largo de los dos niveles, en el sistema de movimiento para la puerta, serán con bisagras retractiles, el aislamiento de la cámara, contara con Espuma de poliuretano, Fibra de vidrio y Cacho expandido rígido gracias a sus propiedades según, (Çengel y Ghajar, 2011), y para la extracción de calor se usara un sistema de refrigeración por absorción, en la figura N°22 se puede observar el concepto final de solución número 2.

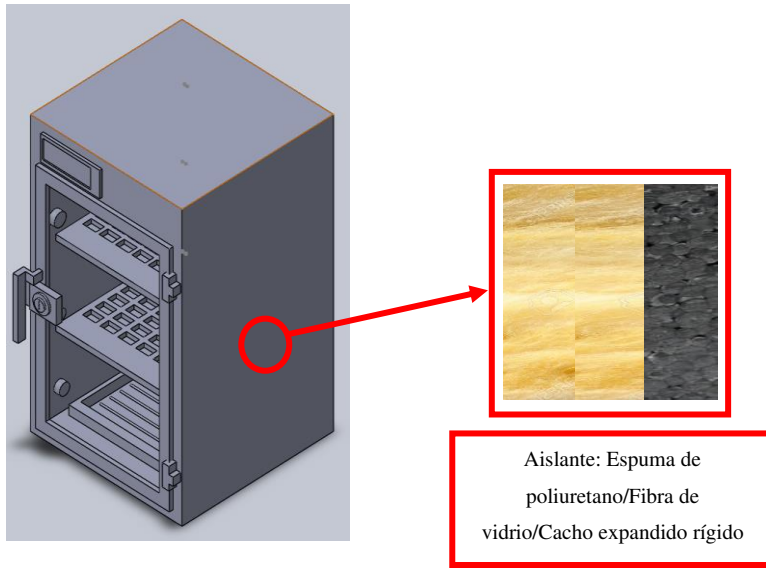


Figura 22. Concepto de solución 2. Elaboración propia.

Concepto de solución 3

Para el concepto de solución 3 se aplicó el sistema de palanca, sin sistema de seguridad, para la recepción de medicamentos, en la parte superior se encontrará la bandeja de acero inoxidable, para el registro de las temperaturas, se contará con un medidor de temperatura de tipo reloj en la parte exterior, en cuanto a la clasificación de medicamentos, se contará con una rejilla diseñada de manera circular, ubicada en los dos primeros niveles como se observa en la figura N°23, para el movimiento de la puerta se usará bisagras clásicas, de acero inoxidable, para conservar la temperatura se usará Uretano, caucho expandido rígido y Aero gel según (Çengel y Ghajar, 2011), y finalmente la extracción de calor será por un sistema de refrigeración por absorción.

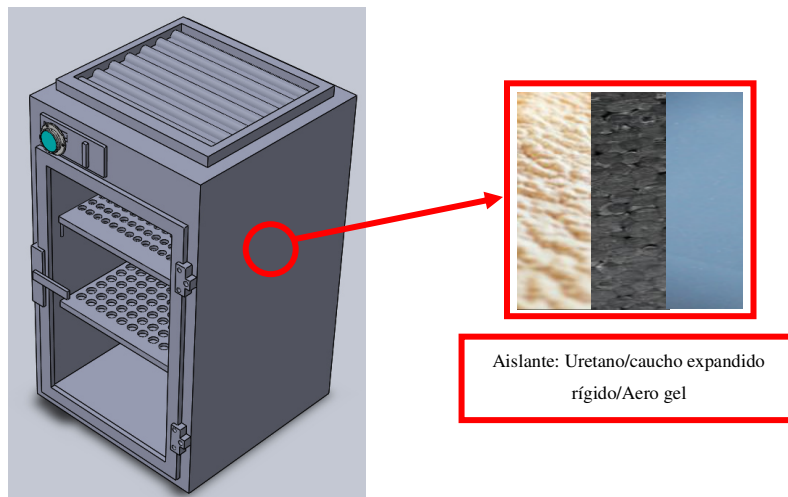


Figura 23. Concepto de solución 3. Elaboración propia.

4.5.1 Análisis de la solución

- **Evaluación técnica económica:**

Tabla 6.. Evaluación técnica.

Diseño Mecánico – Evaluación de proyectos valor técnico (Xi)									
Proyecto: “DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA POR ABSORCIÓN EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR Y GAS NATURAL PARA LA CONSERVACIÓN DE MEDICINAS EN COMUNIDADES ALEJADAS DEL PERÚ”									
P: puntaje de 0 a 4(escala de calores VDI 2225) 0=no satisface 1=aceptable a las justas 2=suficiente 3=bien 4=muy bien (ideal) g: es el peso ponderado y se da la función de importancia de los criterios de evaluación.									
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos									
Variantes de concepto		“g”	S1		S2		S3		
Nº	Criterios de evaluación	%	p	pg	p	pg	p	pg	
1	Función	5	2	10	3	15	2	10	
2	Geometría	15	3	45	3	45	2	30	

3	Cinemática	4	2	8	3	12	3	12
4	Cinética	4	2	8	2	8	2	8
5	Fuerza	4	2	8	2	8	3	12
6	Energía	15	3	45	4	60	2	30
7	Materia	15	3	45	3	45	2	30
8	Señales	5	3	15	3	15	3	15
9	Seguridad	5	3	15	3	15	2	10
10	Ergonomía	5	2	10	2	10	2	10
11	Fabricación	4	3	12	3	12	3	12
12	Montaje	4	2	8	2	8	2	8
13	Transporte	5	2	10	3	15	2	10
14	Mantenimiento	10	3	30	3	30	2	20
Puntaje Total:								
$\sum pixgi$		100	269	298	217			
$\sum pixgi/100/100$			2,69	2,98	2,17			
Valor técnico: xi			0,67	0,75	0,54			

Tabla 7. Evaluación económica.

Diseño Mecánico – Evaluación de proyectos valor Económico (Yi)	
Proyecto: “DISEÑO DE UNA CÁMARA FRIGORÍFICA POR ABSORCIÓN EMPLEANDO ENERGÍA SOLAR Y GAS NATURAL PARA LA CONSERVACIÓN DE MEDICINAS EN COMUNIDADES ALEJADAS DEL PERÚ”	
P: puntaje de 0 a 4(escala de calores VDI 2225) 0=no satisface 1=aceptable a las justas 2=suficiente 3=bien 4=muy bien (ideal) g: es el peso ponderado y se da la función de importancia de los criterios de evaluación.	
Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos	

Variantes de concepto		“g”	S1		S2		S3	
Nº	Criterios de evaluación	%	p	pg	p	pg	p	pg
1	Costo del material	20	2	40	3	60	2	40
2	Costo de fabricación	30	1	30	3	90	2	60
3	Costo de montaje	30	3	90	3	90	3	90
4	Costo de mantenimiento	20	1	20	2	40	3	60
Puntaje Total:								
$\sum pixgi$		100	180		280		250	
$\sum pixgi/100/100$			1.8		2.8		2.5	
Valor económico: yi			0.45		0.7		0.62	

- **Selección del diseño optimo**

Luego de haber obtenido los datos de la evaluación tanto técnica (Xi) y económica (Yi), se procede a graficar para la toma de decisión, donde se verá representada la idea final como una línea pendiente 1. La solución que se

encuentre más próxima al vértice será la más óptima.

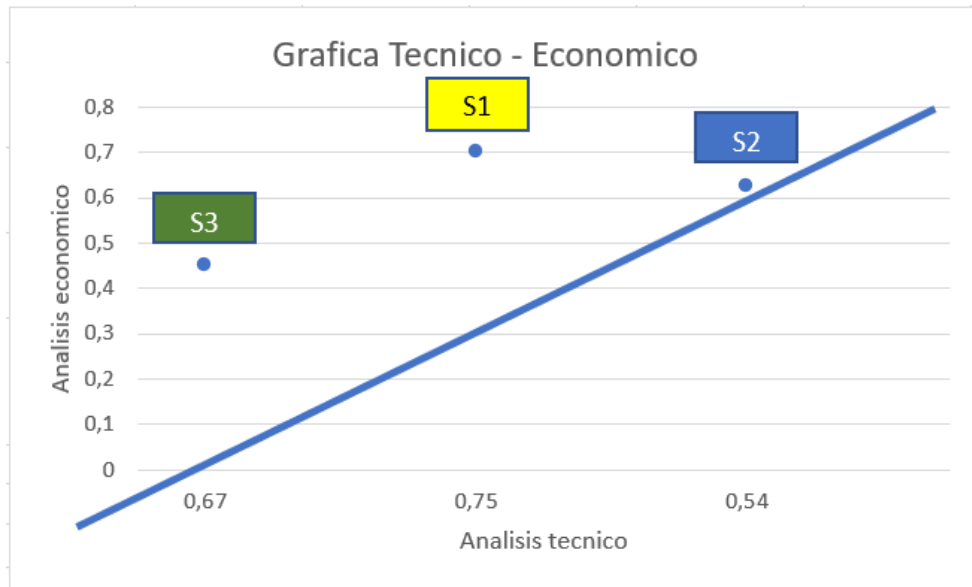


Figura 13. Gráfica técnico-económico, para selección de diseño óptimo. Elaboración propia.

Resultados:

A partir del análisis técnico - económico se toma la decisión, concluyendo así el concepto de solución 2 será el elegido.

4.6 Diseño.

4.6.1 Análisis del diseño

4.6.1.1 Cálculo de carga térmica

En el capítulo dos se mencionó, que se tiene calcular la carga térmica para así determinar qué capacidad debe tener el sistema para el diseño de la cámara.

4.6.1.2 Transferencia de calor a través de paredes

Las paredes de la cámara serán analizadas en las siguientes divisiones, para determinar el espesor del aislante en cada una de ellas, las paredes son:

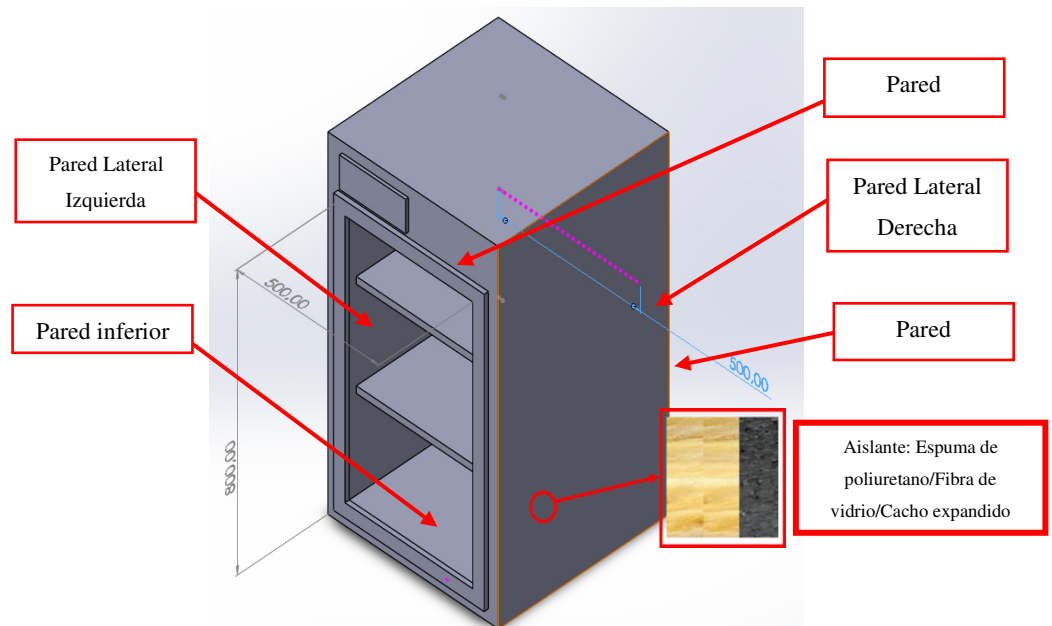


Figura 24. Designacion de partes de la camara. Elaboración propia.

Para determinar el espesor de cada material aislante es necesario determinar el espesor de las paredes siendo 50mm en cada pared.

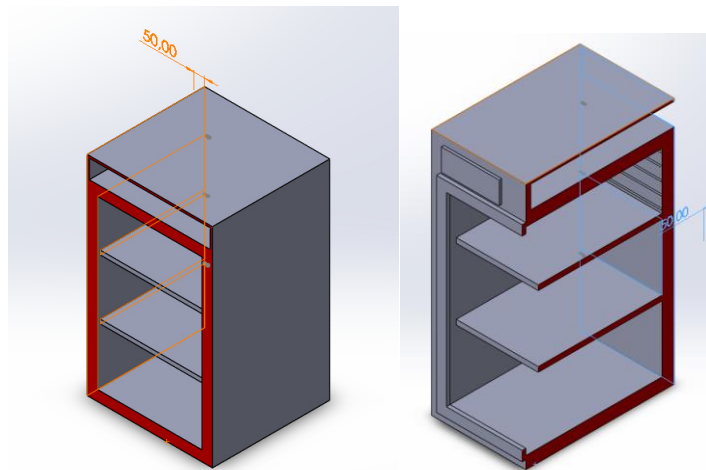
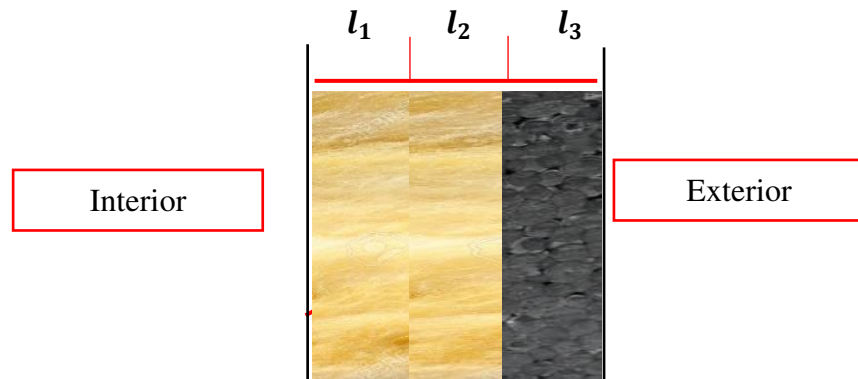


Figura 25. Seccion para el espesor de los aislantes. Elaboración propia.

Para el cálculo de espesores, se plantea de la siguiente manera, nombrando cada uno de los aislantes con su respectiva variable.



Donde:

l_1 = Loingitud de la espuma de poliuretano

l_2 = Loingitud de la fibra de vidrio

l_3 = Loingitud del caucho expandido

4.6.1.2.1 Cálculo de flujo de calor a través de las paredes izquierda, derecha y posterior.

Resistencia térmica total

$$R_{total} = R_{conv_1} + R_{pared_1} + R_{pared_2} + R_{pared_3} + R_{pared_4} + R_{pared_1} + R_{conv_2}$$

Donde:

$R_{conv_{1,2}}$: Resistencia termica generada al interior y exterior de la camara

R_{pared_1} : Resistencia generada por las paredes de acero inoxidable

R_{pared_2} : Resistencia generada por la espuma de poliuretano

R_{pared_3} : Resistencia termica generada por la fibra de vidrio

R_{pared_4} : Resistencia termica generada por el caucho expandido

Para el cálculo se usará la formula (2.11) de resistencia por pared, la longitud será de 2mm en calidad AISI 430, espesor estandarizado en mercado según (Inamesa Perú, 2020).

$$R_{pared_1} = \frac{L}{K * A}$$

$$R_{pared_1} = \frac{\left(\frac{2}{1000}\right) [m]}{14.06 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0.4[m^2]}$$

$$R_{pared_1} = 3,6 * 10^{-4} [C^{\circ}/W]$$

Y así con las demás paredes de aislantes.

Pared de espuma de poliuretano por metro

$$R_{pared_2} = \frac{(1) [m]}{0,023 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0,4[m^2]}$$

$$R_{pared_2} = 108,69 [C^{\circ}/W]$$

Pared de espuma de fibra de vidrio por metro

$$R_{pared_3} = \frac{(1) [m]}{0,036 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0,4[m^2]}$$

$$R_{pared_3} = 69.44 [C^{\circ}/W]$$

Pared de caucho expandido rígido por metro

$$R_{pared_4} = \frac{(1) [m]}{0,032 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0,4[m^2]}$$

$$R_{pared_4} = 78,13 [C^{\circ}/W]$$

Para el cálculo de resistencia por convección se usará la formula (2.10) tomando los datos de la figura N.11 acerca de

la estimación del coeficiente de convección $h_e = 13.5 \left[\frac{W}{m} * C^\circ \right]$ y $h_i = 10.5 [W/m * C^\circ]$.

Para el interior

$$R_{conv_1} = \frac{1}{h_i * 0.4 [m^2]}$$

$$R_{conv_1} = \frac{1}{10.5 * 0.4 [m^2]}$$

$$R_{conv_1} = 0.24 [C^\circ/W]$$

Para el exterior

$$R_{conv_2} = \frac{1}{h_e * 0.4 [m^2]}$$

$$R_{conv_2} = \frac{1}{13.5 * 0.4 [m^2]}$$

$$R_{conv_2} = 0.19 [C^\circ/W]$$

Designación de espesores de cada material aislante

Para determinar el espesor ideal de cada material aislante es necesario resumir las resistencias halladas de cada uno y poder evaluar cuál de ellos aporta mayor aislamiento y así darle un mayor espesor, como se muestra en la tabla 8.

Tabla 8. Tabla de materiales, con espesores y resistencias.

Material	Espesor	Resistenci	Resistencia
	[m] /	a por	final
	[mm]	metro	[C°/W]

		lineal	
		[C°/W]	
Acero Inoxidable AISI 430	0,004 /4	0,009	0,00036
Espuma de poliuretano	0,036 / 36	108,69	39,13
Fibra de vidrio	0,004 /4	69,44	2,78
Caucho expandido rígido	0,006 / 6	78,13	4,69
Total	0,050 / 50		46,59

Nota: Elaboración propia.

Suma de resistencias en paredes izquierda, derecha y posterior.

$$R_{total} = R_{conv_1} + R_{pared_1} + R_{pared_2} + R_{pared_3} + R_{pared_4} + R_{pared_1} + R_{conv_2}$$

$$R_{total} = 0.24 + 3.6 * 10^{-4} + 39.13 + 2.78 + 4.69 + 3.6 * 10^{-4} + 0.19$$

$$R_{total} = 47.03[C^{\circ}/W]$$

Determinación de temperatura de trabajo

La temperatura ambiente para utilizar se determinará de acuerdo con la figura 15, donde menciona las temperaturas máximas y mínimas en el sector selva del Perú, por lo que se tomará un promedio de la temperatura del valor mínimo, debido a que el sistema serval está basado en función a la temperatura, por lo que utilizar un valor mínimo optimiza los cálculos para condiciones mínimas.

$$T_{trabajo} = 24.0 + 21.7 + 24.7 = 23.5 \text{ } ^{\circ}C$$

SECTOR	VALOR MÍNIMO	ALT (M)	VALOR MÁXIMO	ALT (M)
Ceja de Selva	24.0 °C (Utcubamba - Lonya Grande)	1467	34.3 °C (Bellavista - San Pablo)	270
Selva Alta	21.7 °C (Leoncio Prado - Hermilio Valdizán)	1961	30.2 °C (Puerto Inca - Puerto Inca)	249
Selva Baja	24.7 °C (Quispicanchi - Camanti)	651	29.5 °C (La Convención - Santa Ana)	990

Figura 14. Tabla de temperaturas en región selva de Perú. Tomada de “Boletín climático nacional 2018 SENAMHI”. Tomada de <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/02215SENA-60.pdf>

En conclusión, aproximando el valor promedio de temperatura de 23.5 °C, se obtiene 24°C el cual será la temperatura de trabajo, con la que se realizarán los cálculos para este proyecto.

Cálculo de flujo de calor total en las paredes izquierda, derecha y posterior.

La temperatura ambiente para utilizar será de 24°C, gracias a que los materiales seleccionados presentan mejor rendimiento a esta temperatura, para determinar la temperatura promedio al interior, se utiliza el rango de temperaturas deseadas 2°C y 8°C siendo el promedio de 5°C, junto a la fórmula 2.8 acerca dl flujo de calor.

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{24 [^{\circ}C] - 5 [^{\circ}C]}{47.03 [^{\circ}C/W]}$$

$$\dot{Q} = 0.40 [W]$$

En conclusión, se obtienen los espesores adecuados de cada material aislante, para así obtener un flujo de calor bajo, y así minimizar las fugas de calor al interior de la cámara, y lograr mantener la temperatura promedio de 6°C, se obtuvo un flujo de calor de 0.38 watts, con una resistencia de 47.03 Centígrados sobre watts, por pared es decir se obtendrá una resistencia total de 141.09 centígrados sobre watts, lo cual es

aceptable para la temperatura ambiente de 24 °C, estos espesores se replicaran a cada uno de los paneles en la cámara frigorífica.

4.6.1.2.2 Cálculo en las paredes superior e inferior.

Para el cálculo a realizar en las paredes superior e inferior se usarán las mismas formulas aplicadas para el cálculo de paredes izquierda, derecha y posterior, formulas 2.11 y 2.10 con los espesores anteriormente seleccionados en la tabla n.

$$R_{pared_1} = \frac{L}{K * A}$$

$$R_{pared_1} = \frac{\left(\frac{2}{1000}\right) [m]}{14.06 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0.25 [m^2]}$$

$$R_{pared_1} = 5.69 * 10^{-4} [C^{\circ}/W]$$

Y así con las demás paredes de aislantes

Pared de espuma de poliuretano

$$R_{pared_2} = \frac{(0.36) [m]}{0,023 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0,25 [m^2]}$$

$$R_{pared_2} = 62.61 [C^{\circ}/W]$$

Pared de espuma de fibra de vidrio

$$R_{pared_3} = \frac{(0.04) [m]}{0,036 \left[\frac{W}{m} * C\right] * 0,25 [m^2]}$$

$$R_{pared_3} = 4.44 [C^{\circ}/W]$$

Pared de caucho expandido rígido

$$R_{pared_4} = \frac{(0.06) [m]}{0,032 \left[\frac{W}{m} * C \right] * 0,25 [m^2]}$$

$$R_{pared_4} = 7.5 [C^\circ/W]$$

Para el cálculo de resistencia por convección se usará la formula (2.10) tomando los datos de la figura N.11 acerca de la estimación del coeficiente de convección $h_e = 13.5 \left[\frac{W}{m} * C^\circ \right]$ y $h_i = 10.5 [W/m * C^\circ]$.

Para el interior.

$$R_{conv_1} = \frac{1}{h_i * 0.25 [m^2]}$$

$$R_{conv_1} = \frac{1}{10.5 * 0.25 [m^2]}$$

$$R_{conv_1} = 0.38 [C^\circ/W]$$

Para el exterior.

$$R_{conv_2} = \frac{1}{h_e * 0.25 [m^2]}$$

$$R_{conv_2} = \frac{1}{13.5 * 0.25 [m^2]}$$

$$R_{conv_2} = 0.296 [C^\circ/W]$$

En conclusión, la suma de resistencias en paredes izquierda, derecha y posterior, nos da un valor de:

$$R_{total} = R_{conv_1} + R_{pared_1} + R_{pared_2} + R_{pared_3} + R_{pared_4} + R_{pared_1} + R_{conv_2}$$

$$R_{total} = 0.38 + 5.69 * 10^{-4} + 62.61 + 4.44 + 7.5 + 5.69 * 10^{-4} + 0.296$$

$$R_{total} = 75.227 [C^{\circ}/W]$$

Cálculo de flujo de calor a través de las paredes superior e inferior

Para el cálculo de flujo de calor a través de las paredes superior e inferior se usarán los mismos valores en temperatura que en el cálculo para paredes izquierda, derecha y posterior, utilizando la resistencia total por estas mismas paredes





$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{R_{total}}$$

$$\dot{Q} = \frac{24 [^{\circ}C] - 5 [^{\circ}C]}{75.227 [C^{\circ}/W]}$$

$$\dot{Q} = 0.25 [W]$$

En conclusión, la propuesta de diseño calculada, en cuanto a los espesores del material aislante en cada una de las paredes de la cámara debe ser de la siguiente manera:

Tabla 9. Conductividad térmica y espesor de materiales.

	Espesor [mm]	Conductividad [W/m *C°]	Imagen
Espuma de poliuretano	36	0.023	
Fibra de vidrio	4	0.036	
Caucho expandido rígido	6	0.032	
Acero inoxidable AISI 430	2*(2)	14.06	

Nota: Adaptado de “Transferencia de calor y masa”, conductividad térmica en materiales.

Cada material agregara propiedades aislantes para evitar el ingreso del calor del exterior al interior de la cámara, con la aplicación de fórmulas presentadas anteriormente se determinó los espesores mencionados.

4.6.1.3 Cálculo de visor. Convección Natural dentro de recintos cerrados

Cálculo para la razón de transferencia que existe entre el medio y el interior de la cámara a través del visor, como convección natural dentro de recinto cerrado.

Con la ecuación (2.14) se calculará el Número de Rayleigh, después para calcular el número de Nusselt se elegirá la ecuación (2.15) Ya que cumplen con las condiciones para usarlo como se menciona en el capítulo dos.

$$Ra_L = \frac{g * \beta * (T_1 - T_2) * L_c^3}{\nu^2} * Pr$$

$$Ra_L = \frac{9.81 * 0.003478 * (24 - 5) * 0.45^3}{0.00001462^2} * 0.7089 = 14148$$

$$Nu = 0.42 * Ra_t^{\frac{1}{4}} * Pr^{0.012} * \left(\frac{H}{L}\right)^{-0.3}$$

$$Nu = 0.42 * 14148^{\frac{1}{4}} * 0.7089^{0.012} * \left(\frac{0.75}{0.02}\right)^{-0.3} = 1.538$$

Flujo de calor por convección, es de:

$$\dot{Q} = h * A * (T_1 - T_2) = k * Nu * A_s * \frac{T_1 - T_2}{L} \quad (2.17)$$

$$\dot{Q} = 0.0255 * 1.538 * 0.3375 * \frac{24 - 5}{0.02} = 12.55 [W]$$

En este caso al tener un gas, como es el aire no podemos despreciar la transferencia de calor por radiación, ya que la emisividad de la superficie es elevada, algo que tener en cuenta es que, la mitad o más de la mitad de transferencia de calor que pasa por una capa de aire, en un modelo de ventana de hoja doble es por efecto de la radiación.

La transferencia de calor por radiación, de una superficie de temperatura 24°C a otra de 5°C, mediante la ecuación (2.18) y (2.19), es de:

(Las temperaturas son absolutas K)

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon_{efectiva} * \sigma * A_s * (T_1^4 - T_2^4)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{rad} &= 0.6 * 5.670 * 10^{-8} * 0.3375 * ((24 + 273)^4 - (5 + 273)^4) \\ &= 20.76 [W] \end{aligned}$$

La emisividad en un vidrio, en este caso, se tomará un vidrio borosilicato templado o mayormente conocido como Pyrex, la ventaja que se tiene es que, con este material, se consigue un mayor rango de temperaturas, y mayor resistencia a golpes mecánicos en su superficie, donde su

emisividad es de 0.75 comúnmente, por esto la emisividad efectiva que hay entre las dos placas de vidrio, una frente a otra es de:

$$\varepsilon_{efectiva} = \frac{1}{\frac{1}{0.75} + \frac{1}{0.75} - 1} = 0.6$$

El calor total, o la razón de transferencia de calor total entre dos placas de vidrio, es dada sumando el calor por convección con el de radiación.

$$\dot{Q}_{total} = Q_{rad} + \dot{Q}$$

$$\dot{Q}_{total} = 33.31 \text{ W}$$

En conclusión, la razón de transferencia de calor obtenida es elevada, pero es lo que queremos evitar, por este motivo, se toma como solución, colocar un blindaje contra radiación, el cual ayudará a disminuir notablemente este valor.

Recalculando razón de transferencia de calor mediante radiación, con el uso de Blindaje contra la radiación

Mediante el uso de una lámina de Aluminio, la cual tiene baja emisividad, se busca disminuir notablemente el flujo de calor, a través de este recinto cerrado entre las dos planchas de vidrio, logrando el siguiente resultado:

$$\dot{Q}_{blindaje} = \frac{\sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right) + \left(\frac{1}{\varepsilon_{3.1}} + \frac{1}{\varepsilon_{3.2}} - 1\right)} \quad (2.20)$$

La emisividad del aluminio es de 0.07. Con este dato, calcularemos con la ecuación 2.20.

$$\dot{Q}_{blindaje} = \frac{5.67 \cdot 10^{-8} \cdot ((24+273)^4 - (5+273)^4)}{\left(\frac{1}{0.75} + \frac{1}{0.75} - 1\right) + \left(\frac{1}{0.07} + \frac{1}{0.07} - 1\right)} = 3.506 \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

Con este recalcu, con un blindaje de radiación obtendremos un valor menor al que se tuvo solamente como recinto cerrado. La razón total de transferencia de calor a través del visor es de:

$$\dot{Q}_{total} = Q_{rad_blindaje} + \dot{Q}$$

$$\dot{Q}_{total} = 16.06 W$$

En conclusión, se pudo obtener buenos resultados al colocar un blindaje contra la radiación, logrando así disminuir un 48.21 %, disminuyendo de un 33.31 W a 16.06 W. de ganancia de calor a través del visor de doble pantalla o ventana.

4.6.1.4 Cálculo de carga de térmica por medicamento

Para lograr hallar la capacidad de extracción calorífica que debe tener el sistema de refrigeración es necesario incluir y adicionar el calor generado por los medicamentos.

Toma de datos de temperaturas con respecto a un kilogramo de agua a enfriar				
Tiempo del experimento	Kilogramos de Agua a enfriar	Temperatura inicial	Delta de temperatura experimental	Tiempo requerido en horas
1 día	1	Ambiente	1 °C	12.01 minutos
	1	Ambiente	1 °C	12.5 minutos
	1	Ambiente	1°C	11.58 minutos
	1	Ambiente	1°C	12.0 minutos

Figura 16. Toma de datos de temeptraturas con respecto a un kilogramo de agua a enfriar. Tomada de “potencial de un sistema de refrigeración solar por absorción en Zonas de alta irradiación en colombia para cargas de Refrigeración medicas y conservación de alimentos”, por Beltran Juan. 2018.

Para determinar la carga térmica del medicamento es necesario utilizar la primera ecuación de termodinámica ecuación (2.2), donde se ve incluida

la masa de agua multiplicado por el calor específico y la diferencia de temperatura (Beltrán J.).

Se determina que el tiempo promedio para reducir en un grado de temperatura un kilogramo de agua es de 12.02 minutos, tomando una temperatura ambiente, por lo que este tiempo es aplicado al cálculo, y así determinar la cantidad de energía necesaria a extraer de cada medicamento, por kilogramo de agua.

$$Q_p = m_{agua} * C_{p_{agua}} * (T_f - T_i) \quad [W]$$

$$Q_p = \frac{1}{12.02 * 60} \left[\frac{Kg}{s} \right] * 1.865 * (25 - 24) \quad [W]$$

$$Q_p = 2.58 * 10^{-3} \quad [W]$$

En conclusión, la cantidad necesaria de extracción de calor por medicamento es de $2.58 * 10^{-3}$ Watts en 12.02 minutos, esta cantidad es considerando un kilogramo de agua, por lo que será necesario considerar la cantidad de agua contenida en cada medicamento.

4.6.1.4.1 Cálculo de Infiltración

Este cálculo de Infiltración es para poder calcular la ganancia de calor que ocurre cada vez se apertura las puertas de la cámara. Así el refrigerador venza este adicional de calor que está entrando.

Se empezará con el cálculo de la carga sensible (Beltrán J.), mediante la ecuación (2.3).

$$Q_{s_{infiltr}} = 1.1 \times \text{CFM} \times \Delta T \quad (1)$$

Calor latente se obtiene con la ecuación (2.4), donde tenemos $W_i - W_p$, que es la relación entre humedad exterior e interior, la cual se obtiene mediante la carta psicométrica de humedad-

temperatura así encontrar cuantos granos de agua, se tiene que extraer por humedad, que ingresa a la cámara (Beltrán J.).

$$Q_{lat_{infiltr}} = 0.68 \times CFM \times (W_i' - W_p') \quad (2)$$

Debemos de hallar los CFM, con la ecuación (2.5), teniendo en cuenta que debemos convertir el volumen a pie^3 .

$$CFM = C.A * \frac{Vol}{60}$$

$$CFM = 2 * \frac{5.298 \text{ ft}^3}{60} = 0.1766 \text{ ft}^3 / \text{min}$$

Reemplazando en (1):

$$Q_{sl_{infiltr}} = 1.1 \times 0.1766 \times (75.2 - 41) = 6.644 \text{ BTU}$$

$$Q_{sl_{infiltr}} = 1.947 \text{ W}$$

Reemplazando en (2):

$$Q_{lat_{infiltr}} = 0.68 \times 0.1766 \times (8 - 5) = 0.3603 \text{ BTU}$$

$$Q_{lat_{infiltr}} = 0.1056 \text{ W}$$

Calor total por infiltración (2.6), la ganancia es el resultante de sumar calor sensible y latente:

$$Q_{T_{infiltr}} = Q_{lat} + Q_{sen}$$

$$Q_{T_{infiltr}} = 0.1056 + 1.947 = 2.053 \text{ [W]}$$

En conclusión, se obtiene un valor total de infiltración de 2.053 W, suponiendo que por cada hora se realizan dos aperturas de la cámara de refrigeración. Esta es la ganancia teórica, la cual puede variar en el tiempo y ocasión, pero es un dato que se

tomará en cuenta, como referencia para tener valores más exactos, al momento de sumar los calores.

4.6.1.5 Cálculo de calor de foco

La cámara frigorífica cuenta con iluminación al interior con un pequeño foco que consume 6 W, ahora hallaremos calor ganado por el foco.

$$Q_{foco} = Cons * 0.2$$

$$Q_{foco} = 3 W * 0.2 = 0.6 [W]$$

4.6.2 TABLA DE RESULTADOS

Tabla de resultados

	Valor	Unidades
CALOR INFILTRACIÓN	2.053	W
CALOR FOCO	0.6	W
CALOR MEDICAMENTO	2.58*10 ⁽⁻³⁾	W
CALOR A TRAVES DEL VISOR (BLINDAJE)	16.06	W
CALOR A TRAVES DE PAREDES (IZQ, DRC, POST)	0.4	W
CALOR A TRAVES DE PAREDES (SUP, INF)	0.25	W
TOTAL	19.363 W	

Este es el resultado de la suma de todos los calores que ingresan a la cámara en el lapso de 1 hora, el cual nos indica, a la vez, el calor que hay que extraer, para poder conservar los medicamentos, es por esto por lo que el sistema de refrigeración

debe tener la capacidad de absorción mínima de 19.363 W para una cámara de 150 L de capacidad.

Capacidad del equipo de refrigeración

En conclusión, se considerará un factor de seguridad de 1.3, para la capacidad de refrigeración del equipo.

$$C_{equipo} = Q_t * F_s$$

$$C_{equipo} = 19.363 W * 1.3 = 23.24 W$$

$$C_{equipo} = 23.24 * 3.41 = 79.2484 BTU$$

CAPÍTULO V

SIMULACIÓN

5.1 Simulación

5.1.1 Simulación de cálculos mediante software EES

Para poder simular los cálculos se utilizó un software de nombre EES, el cual tiene una función “Diagram Windows”, el cual nos permite realizar una solución interactiva, este es de utilidad, ya que se puede colocar los valores de entrada y salida, planteadas en la ventana de ecuaciones, de manera más interactiva y amigable con el usuario, permitiendo además modificar o variar los valores de entrada y calcular nuevamente, todas las ecuaciones de manera rápida, mostrando resultados, con la ayuda de imágenes, gif, etc. Además, se puede sombrear o cambiar el color de los valores que son de importancia o los que se busca conseguir con la realización de todas las ecuaciones, para hacerlas sobresalir entre todos los valores.

5.1.1.1 Simulación de cálculo para espesores de paredes

Para poder realizar la simulación, se introdujeron las fórmulas (2.10, 2.11 Y 2.8) utilizadas en el capítulo número 4, así como los espesores

encontrados en el cálculo teórico realizado, para así contrastar el cálculo y generar una solución interactiva, para la interpretación de los datos.

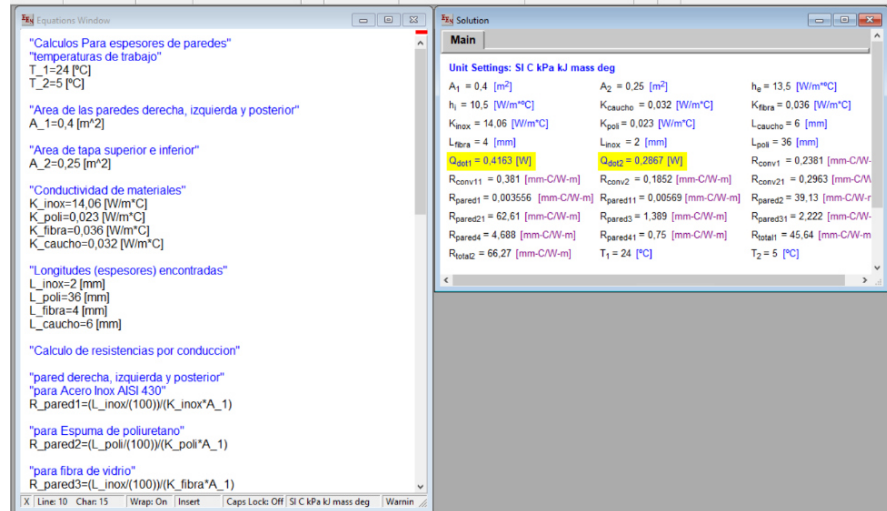


Figura 15. Cálculo en EES sobre espesores de paredes y aislantes. Elaboración propia.

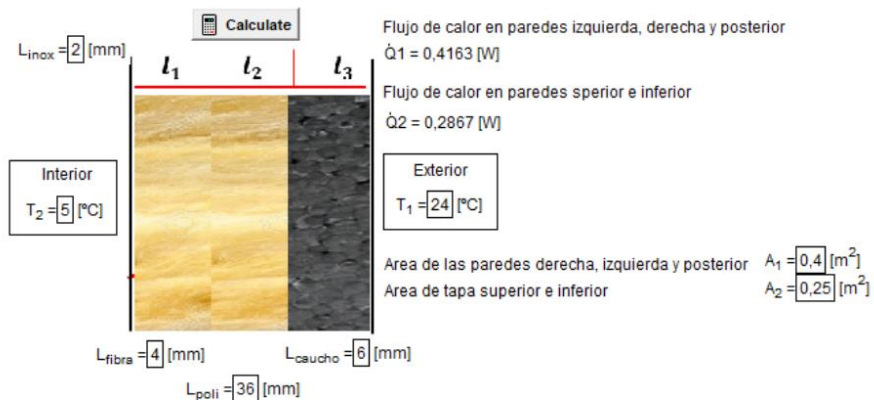


Figura 16. Solución Interactiva (Diagram Windows). Cálculo de espesores de paredes. Elaboración propia.

5.1.1.2 Simulación de cálculo de visor. Convección Natural dentro de recintos cerrados

Se realizó la simulación de los cálculos descritos en el capítulo 4, para saber el flujo de calor a través del visor, mediante el cálculo de convección natural dentro de recintos cerrados, colocando valores de

ingreso de temperaturas, dimensiones de los vidrios, así como la distancia de la brecha de aire.

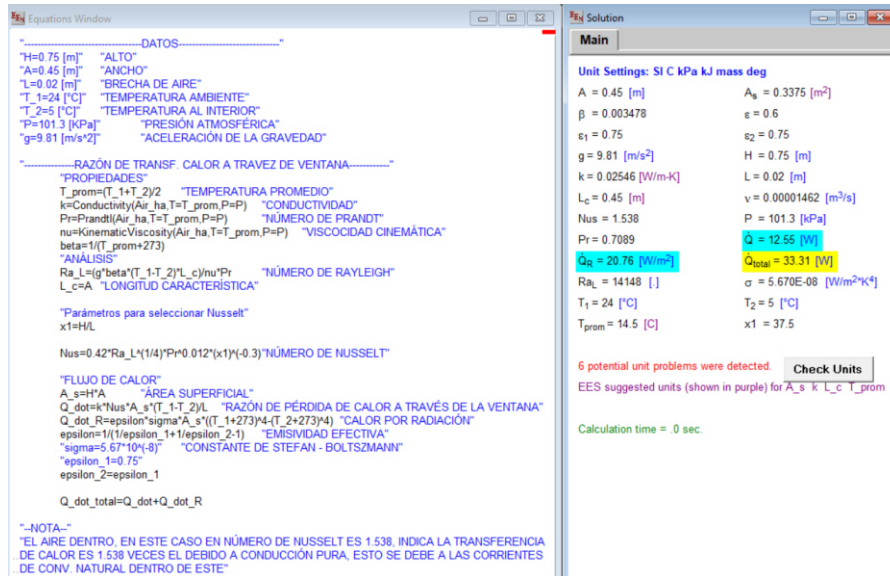


Figura 17. Cálculo en EES sobre Convección Natural dentro de recintos cerrados. Elaboración propia.

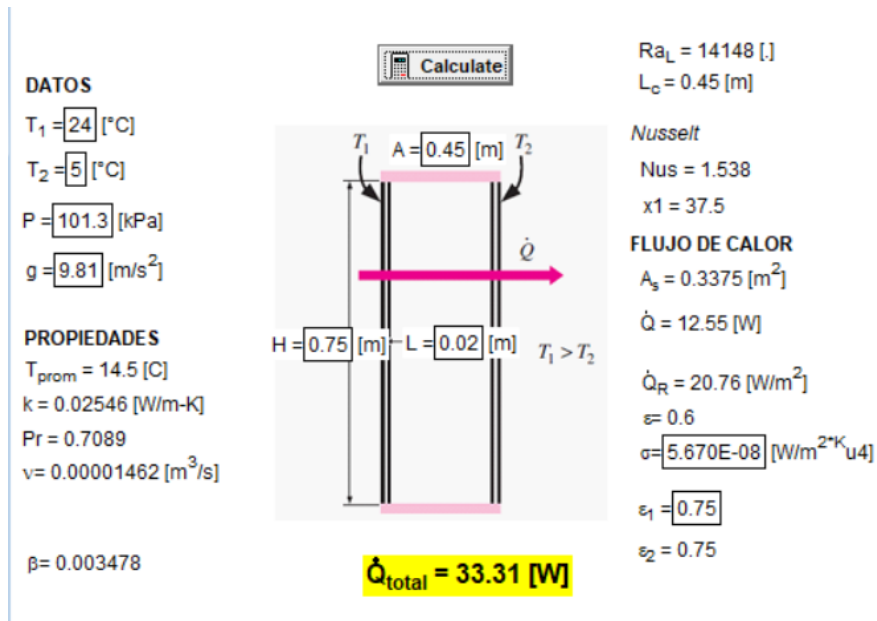


Figura 18. Solución Interactiva (Diagram Windows). Convección natural dentro de recintos cerrados. Elaboración propia.

5.1.1.3 Simulación del recálculo de razón de transferencia de calor mediante radiación, con el uso de Blindaje contra la radiación

Después de realizar los cálculos de convección natural dentro de recintos cerrados, se realizó un recálculo, con el objetivo de disminuir la transferencia de calor a través del visor, ya que la radiación cumple un papel importante en este diseño, debido a esto es por lo que se decidió de un blindaje para la radiación y así disminuir la razón de transferencia de calor por radiación y por consecuencia la razón total.

The screenshot displays the EES software interface with two main windows: 'Equations Window' and 'Solution'.

Equations Window:

```
"-----DATOS-----"  
"T_1=24 [°C]" "TEMPERATURA EXTERIOR"  
"T_2=5 [°C]" "TEMPERATURA INTERIOR"  
"epsilon_1=0.75" "EMISIVIDAD VIDRIO 1"  
"epsilon_2=epsilon_1" "EMISIVIDAD VIDRIO 2"  
"epsilon_3=0.07" "EMISIVIDAD DEL BLINDAJE (ALUMINIO)"  
"sigma=5.67*10^(-8)" "CONSTANTE DE STEFAN - BOLTSZMANN"  
  
"-----SOLUCIÓN-----"  
"RAZÓN DE TRANSF. CALOR POR RADIACIÓN A TRAVES DE VENTANA, CON  
BLINDAJE"  
q_dot_blindaje=q_dot_12_blin/A  
  
Q_dot_12_blin=sigma*(T_1+273)^4-(T_2+273)^4 "CALOR POR RADIACIÓN"  
A=(1/epsilon_1+1/epsilon_2-1)+(1/epsilon_3-1+1/epsilon_3-2-1)  
epsilon_3_1=epsilon_3  
epsilon_3_2=epsilon_3  
  
"CALOR POR CONVECCIÓN NATURAL"  
"Q_conv=12.55 [W]"  
  
"FLUJO DE CALOR TOTAL"  
Q_dot_total=Q_conv+q_dot_blindaje
```

Solution Window:

Unit Settings: SI C kPa kJ mass deg

A = 29.24 [m ²]	ε ₁ = 0.75
ε ₂ = 0.75	ε ₃ = 0.07
ε _{3,1} = 0.07	ε _{3,2} = 0.07
Q _{conv} = 12.55 [W]	Q̇ _{12,blin} = 102.5 [W]
Q _{blindaje} = 3.506 [W/m ²]	Q̇ _{total} = 16.06 [W]
σ = 5.670E-08 [W/m ² ·K ⁴]	T ₁ = 24 [°C]
T ₂ = 5 [°C]	

3 potential unit problems were detected.

Calculation time = .0 sec.

Figura 19. Cálculos EES. Recálculo de transferencia de calor a través del visor, con un blindaje contra la radiación. Elaboración propia.

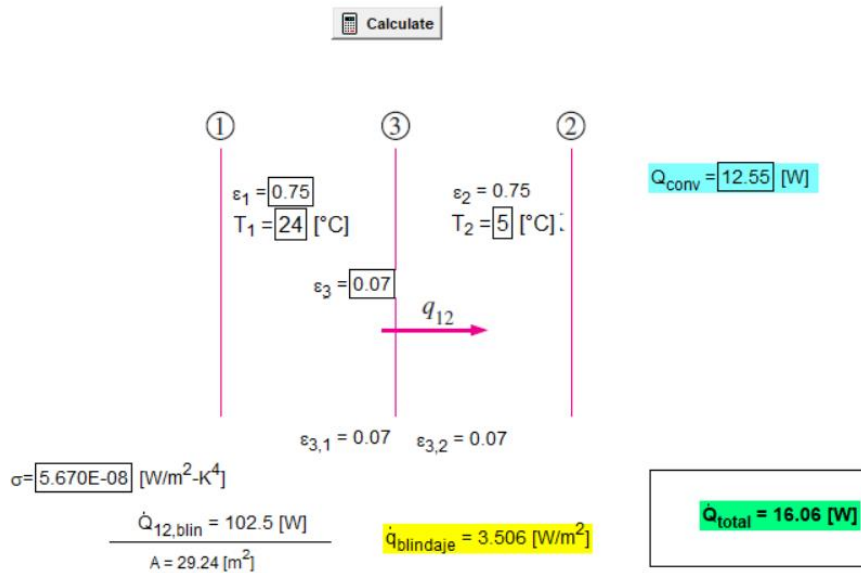


Figura 20. Recalculo EES. Solución Interactiva (Diagram Window). Transferencia de calor a través del visor. Elaboración propia.

5.1.1.4 Cálculo de Infiltración

Se hizo los cálculos de la transferencia de calor que existe cuando se realiza la apertura de la puerta, a esta acción se le llama infiltración, es calculada cuando se apertura y existe un flujo calor hacia el interior. Se toma como suposición de 2 aperturas por hora. Se tuvieron en cuenta valores como la capacidad de la cámara en litros, siendo esta de 150L, así como temperaturas, y las humedades relativa y específica para los cálculos, tomadas de la carta psicométrica.

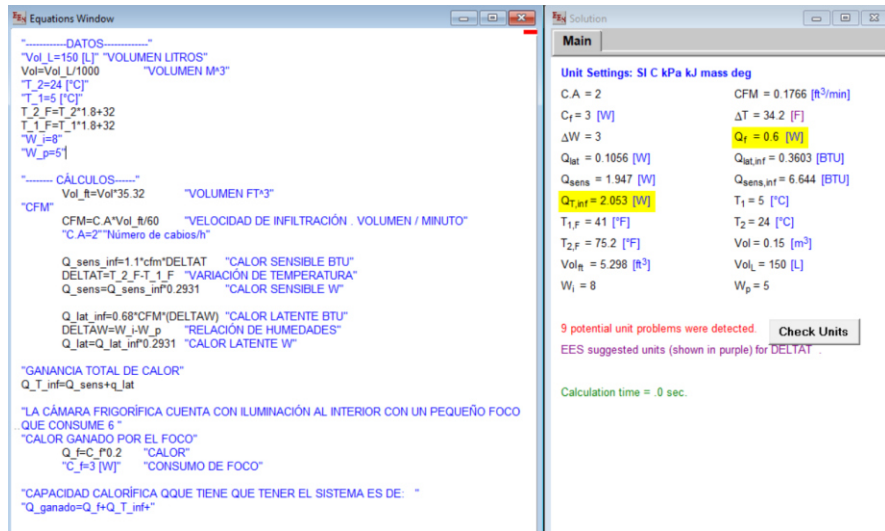


Figura 21. Cálculo en EES, razón de calor como Infiltración. Elaboración propia.

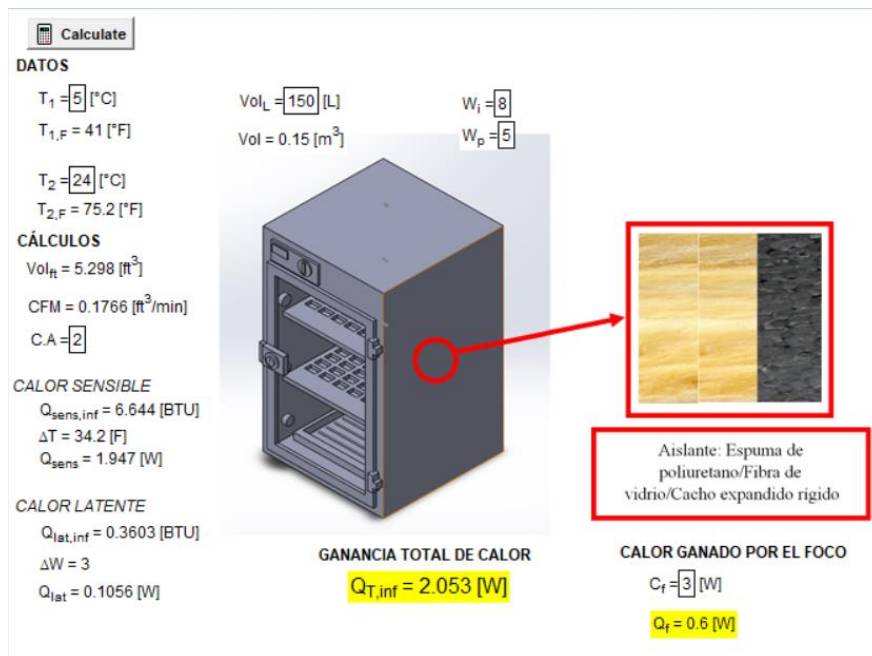


Figura 22. Solución Interactiva, Diagram Windows. Razón de transferencia de calor como infiltración. Elaboración propia.

5.1.2 Simulación de cámara en funcionamiento

Para la simulación de la cámara en funcionamiento se ubicó en una habitación estandarizada de 3850 x 2350 x 2500 donde se estableció el paso de aire a

temperatura ambiente anteriormente calculada de 24 [°C], para esto el material de primer contacto será la cobertura de acero inoxidable de la cámara.

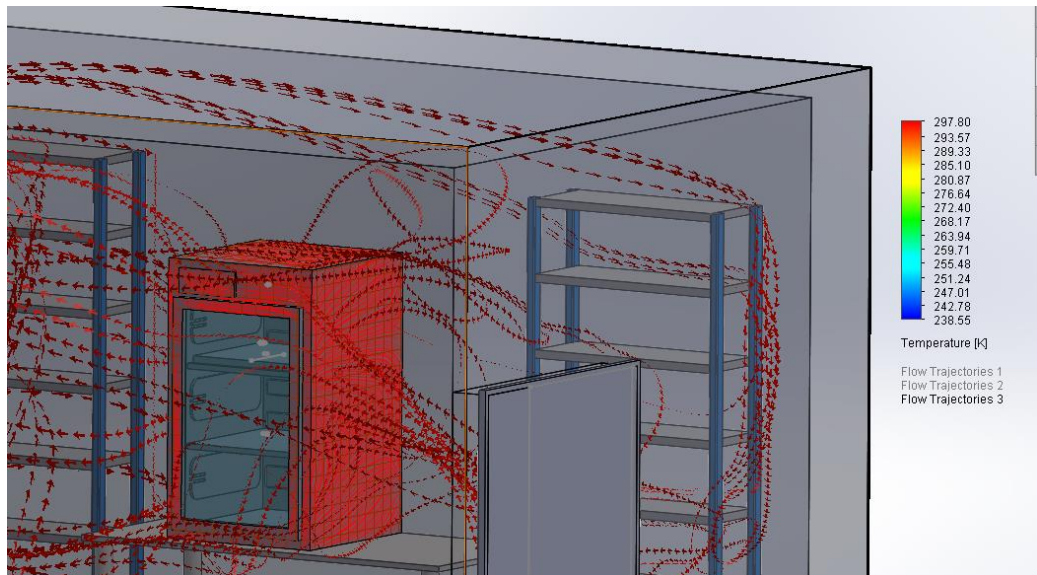


Figura 23. Simulación de cámara en funcionamiento, ubicado dentro de un cuarto de almacén de medicinas.

5.1.3 Simulación de flujo de calor a través de paredes con aislante

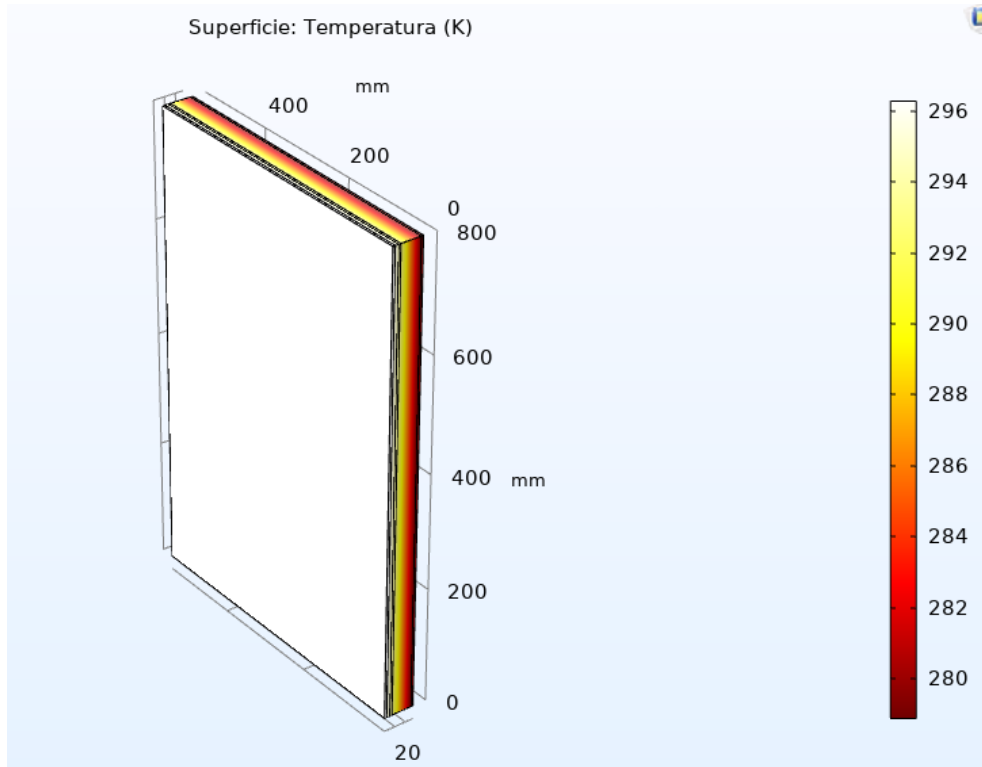


Figura 24. Simulación de calor, a través de paredes con aislante, expresado en Temperaturas.

Para realizar esta simulación, se dibujó mediante el software SolidWorks y se simuló por medio de COMSOL Multiphysics, un software de elementos finitos, para aplicaciones de ingeniería, el cual contiene, dentro de todas sus librerías, un módulo de transferencia de calor, el cual se usó para poder realizar esta simulación.

Los datos de entrada fueron de 297 °K en la entrada, de una cara de la pared, y 278 °K por el otro lado, así como las conductividades térmicas de los materiales con los que se trabajó. La simulación se hizo de transferencia de calor en sólidos, y el estudio general en estado estacionario, teniendo como al aire a temperatura ambiente, ingresando datos como flujo de calor convectivo, con valore de “h” descritos en el documento.

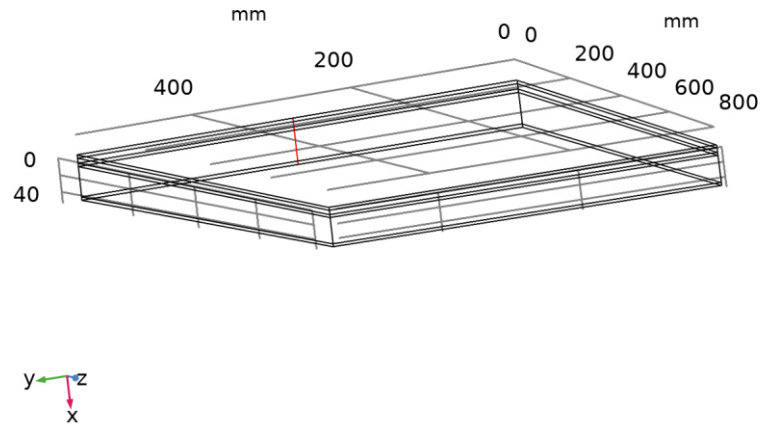


Figura 25. Conjunto de datos. Línea de corte en 3D de pared.

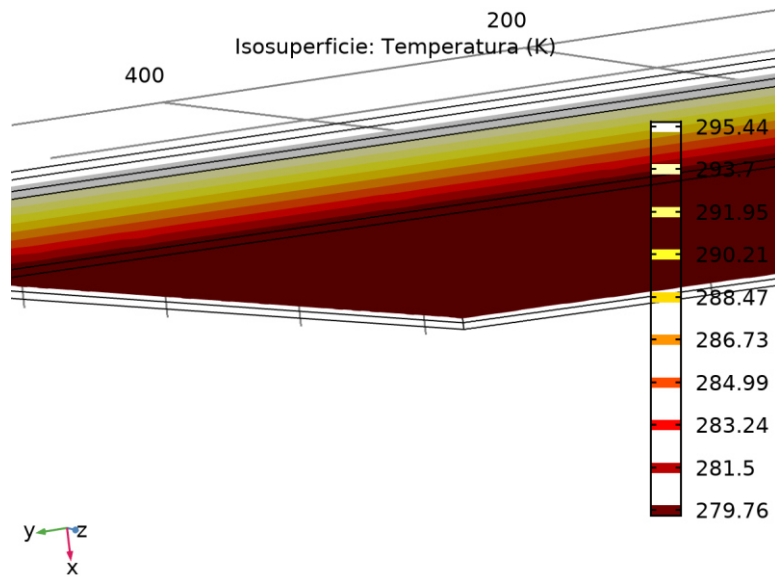


Figura 26. Isosuperficie de temperaturas.

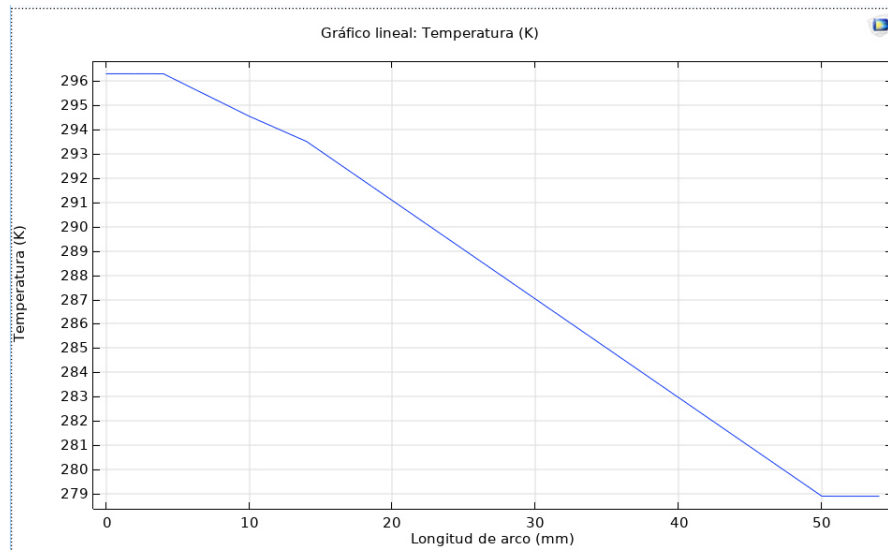


Figura 27. Gráfica lineal de temperatura. Elaboración propia.

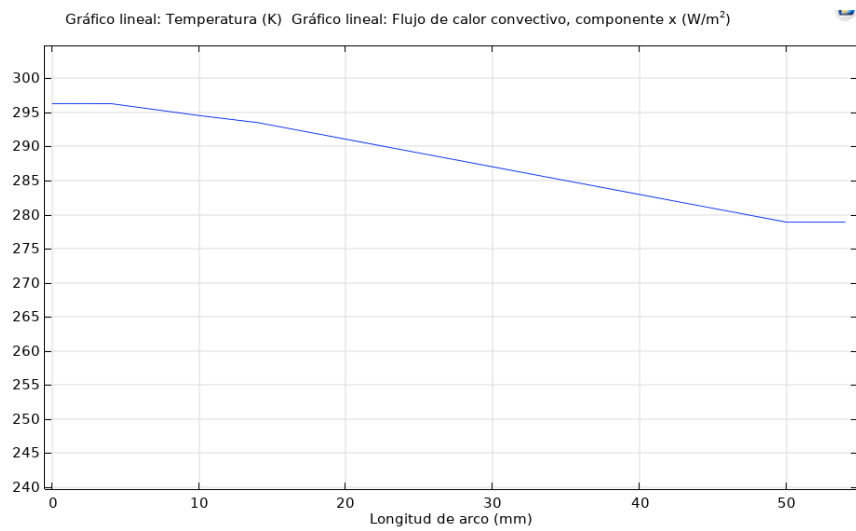


Figura 28. Flujo de calor total a través de las paredes. Diagrama T-L.

5.1.4 Simulación de flujo convectivo a través del visor

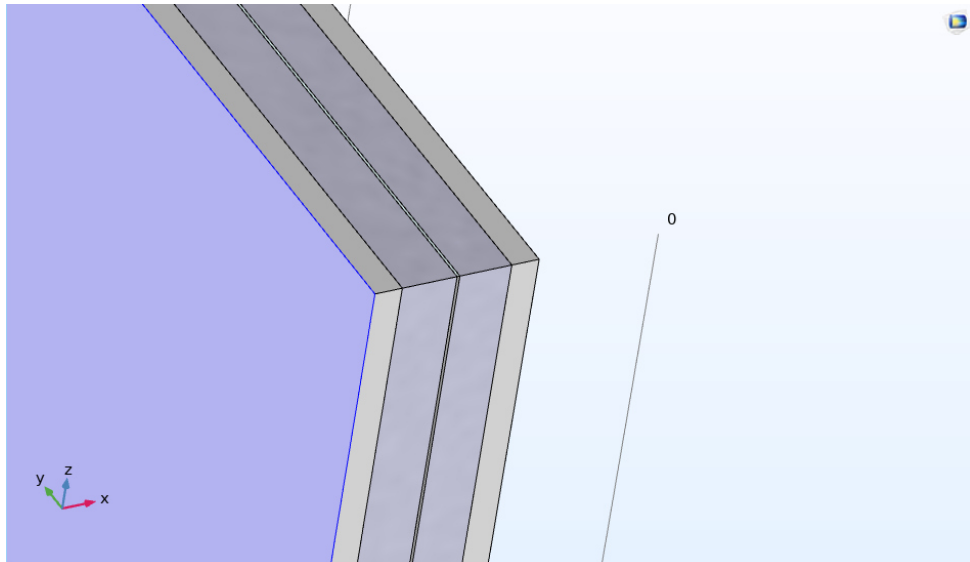


Figura 29. Vista Isométrica de la ventana.

En esta sección se presenta la simulación del flujo de calor convectivo a través del visor de la cámara frigorífica, dibujado en SolidWorks y simulado a través del software COMSOL Multiphysics.

La simulación fue realizada en un modelo 3D de flujo de calor a través de sólidos y en estado estacionario, al igual que la anterior simulación se le dio datos de entrada como temperatura ambiente de 297 °K y se puso una temperatura dentro de

la cava de 278 °K, como calor en solidos, el estudio se introdujeron valores de h descritos en el capitulo 4 para el interior y exterior.

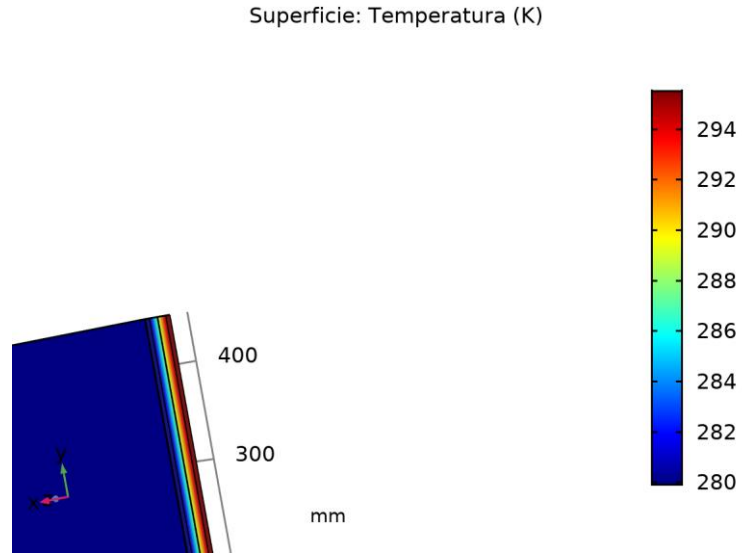


Figura 30. Flujo de calor convección Superficie: Temperatura (K).

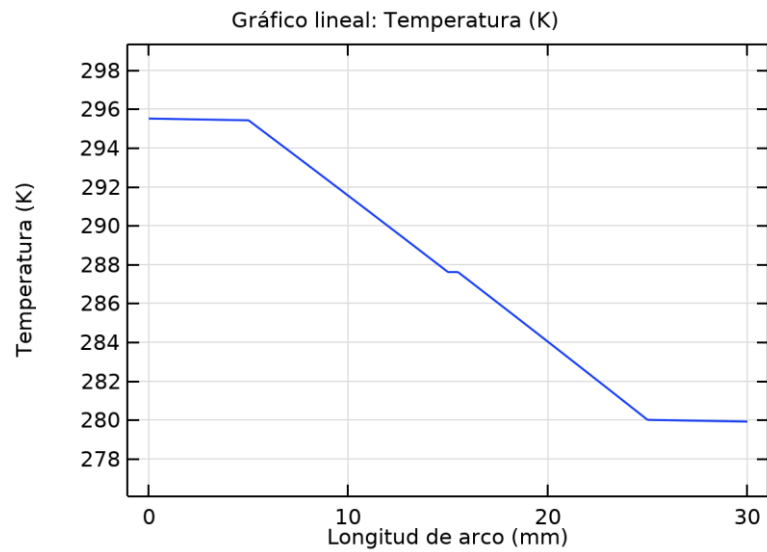


Figura 31. Gráfico lineal. Temperatura (K) – Longitud.

5.2 Resultados

5.2.1 Simulación de cálculo mediante software ESS

5.2.1.1 Simulación de cálculo para espesores de paredes

Una vez realizada la simulación se obtuvieron los datos de $Q_{\dot{1}}=0.4163$ [W] y $Q_{\dot{2}}=0.2867$ [W], que corresponden al flujo de calor de las paredes (izquierda derecha y posterior) y (Superior e inferior) respectivamente, estos flujos de calor son comparados con los obtenido de manera teórica, en el capítulo 4 donde se obtuvo para el flujo de calor de paredes (izquierda derecha y posterior) y (Superior e inferior) los valores de 0.4 [W] y 0.25 [W], variando en 0.016 y 0.036 milésimas, por lo que se valida el cálculo realizado, gracias a la simulación interactiva realizada, se es capaz de modificar los espesores, brindado así posibles mejoras en el diseño.

5.2.1.2 Simulación de cálculo de visor. Convección Natural dentro de recintos cerrados

En conclusión, los cálculos realizados en el software fueron contrastados realizados en el capítulo 4, donde se observa un calor de 33.31 [w] para la convección natural en recintos cerrados, al no encontrarse diferencia de los resultados obtenidos de manera teórica, se comprueba la veracidad de estos.

5.2.1.3 Simulación del recalcu de razón de transferencia de calor mediante radiación, con el uso de Blindaje contra la radiación

Para la aplicación de blindaje se introdujo las fórmulas aplicadas de manera teórica, donde de igual manera se obtuvo el calor total de 16.06 [w] el cual varia en décimas al cálculo teórico, esto indica y comprueba la veracidad del cálculo realizado.

5.2.1.4 Cálculo de infiltración

Este cálculo de infiltración nos da el calor que entra a la cámara cada vez que se realiza la apertura de la puerta, este valor, varía dependiendo de la

cantidad que se realiza esta acción, o la temperatura externa que se encuentre. La solución interactiva, nos permite variar estos valores y obtener nuevos resultados de manera más rápida.

5.2.2 Simulación de cámara en funcionamiento

En un estado normal de funcionamiento se puede observar el flujo de aire alrededor de la cámara frigorífica, tomando la temperatura máxima de 297.80 [°K] o 24.8 [°C] en las caras frontal, superior, laterales (izquierda y derecha), logrando así distribuir la temperatura a lo largo de las caras y verificando la aplicación de cálculo de resistencia por convección.

5.2.3 Simulación de flujo de calor a través de paredes con aislante

Se puede observar la caída de temperatura a lo largo de los bloques de materiales, en este caso son 5, con sus debidos espesores en mm a lo largo de la pared.

En la figura 26 nos muestra el flujo de calor a través de la pared, con diferente bloque con sus respectivos materiales y espesores, en un gráfico Temperatura – Longitud de arco, obteniéndose valores de temperatura mediante el flujo de e calor a través de solidos de 279.76 °K al interior de la cámara y de 295.44 °K al exterior de la cámara.

En la figura 27 nos muestra la temperatura en función de la longitud, como varia esta, a lo largo de la pared, pasando por cada aislante hasta llegar a la temperatura de 279.76 °K en el interior de la cámara, de igual manera se puede observar un gráfico lineal en la figura 28 de temperatura - longitud, pero este caso la gráfica es de la transferencia de calor a través de la pared.

5.2.4 Simulación de flujo convectivo a través del visor

En este apartado se puede observar la simulación del flujo de calor convectivo a través del visor, gracias a la herramienta de simulación llamada COMSOL Multiphysics, tomando el aire como flujo en estado estacionario.

En la figura 30 se puede observar el grafico de temperaturas, proveniente del flujo de calor convectivo a través de todo el visor, se puede extraer datos

calculada por el software como la temperatura al interior, que es de 8 °C, en el exterior la temperatura que es ingresada es de 297 °K, pero en la cara del vidrio que está expuesta a la temperatura ambiente dicha, el cálculo mediante el programa nos arroja un resultado aproximado de 296 °K, estos datos concuerdan con los tóricos, ya que al ser vidrio tiene una conductividad térmica más baja que el acero, esto se da a notar en la simulación de flujo de calor a través de paredes, todo lo anterior descrito de la simulación de flujo de calor a través del visor, está ligado solamente por flujo de calor convectivo a través del visor, sin tener en cuenta la radiación.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó un modelo de cámara de refrigeración apropiada para la conservación de medicamentos, orientada a la temperatura mínima promedio de la región selva del Perú, con objetivo de que el sistema Servel de refrigeración, que esté acoplado a la cámara, sea capaz de funcionar de manera adecuada, lográndose realizar conceptos de solución, que mediante la metodología VDI 2221, se pudo elegir uno que cumpla con nuestros requerimientos, de un tamaño adecuado para los centros médicos, con capacidad de almacenamiento de 150 L, y unas dimensiones apropiadas con un diseño simple pero funcional, que permita una distribución apropiada de estos y con un visor de vidrio, para poder seleccionar de manera visual lo que se quiere retirar de la cava, sin tener aperturas de puerta innecesarias.
2. Se logró seleccionar el material de los aislantes térmicos, así como sus respectivos espesores para la cava de refrigeración de medicamentos, mediante la resolución de cálculos por transferencia de calor por conducción, utilizando el método de resistencias térmicas, determinando que la espuma de poliuretano, fibra de vidrio y caucho expandido con espesores de 36, 4 y 6 mm respectivamente obtendrían una capacidad de aislante lo suficiente para disminuir el flujo de calor sumado a la conductividad térmica propia de un Acero inoxidable AISI 430 resulta un paso de calor de 0.65 [W].
3. Se logró obtener la capacidad de refrigeración que se requiere, según los cálculos de transferencia de calor, para un sistema adecuado de refrigeración de la cámara frigorífica, gracias a la obtención de potencia necesaria, como resultado de los cálculos realizados en las paredes izquierda, derecha, superior, posterior y puerta, además de cálculos de calor por infiltración, calor de foco y finalmente calor del medicamento, haciendo un total de 19.363 [w], mencionado en la tabla N°3, del capítulo 4.
4. El factor de seguridad será de 1.3 para la capacidad de refrigeración del equipo, teniendo un valor final de 23.24 [W] o 79.25 [BTU], la capacidad de rechazo de calor del sistema servel es de 86.01 [w] o 293.29 [BTU] por lo que será capaz de absorber el calor hallado.

4. El diseño de la cámara frigorífica que se obtuvo tiene las dimensiones adecuadas de 1000 x 800 x 800, haciendo un total de 150 litros, tamaño adecuado según la Norma Técnica de Salud NTS N°136 - MINSA/2017/DGIESP.

RECOMENDACIONES

- Realizar análisis de eficiencia, aplicado a la cámara frigorífica, con el sistema de refrigeración acoplado (Sistema Servel).
- Realizar el cálculo del coeficiente de convección “h”, en base a los datos teóricos de flujo de calor, para poder obtener un valor más exacto, así se tendrá mayor precisión al momento de realizar.
- Implementación de paquetes fríos en el diseño de la cámara, para así mantener la temperatura en las condiciones establecidas, en caso ocurra una rotura de cadena de frío o algún percance con el sistema de refrigeración.
- Usando la memoria de cálculo obtenida se podrá realizar una variación de datos, obteniendo así una aplicación distinta, como para la industria alimentaria.
- Aplicando un controlador mediante PLC se complementaría el sistema de refrigeración, siendo capaz de regular temperaturas, ampliando así su aplicación del mercado.
- Es posible reemplazar el material del casco (Acero Inoxidable AISI 430) por uno con menor conductividad térmica, sacrificando así la estética de la cámara frigorífica, para obtener un mayor aislamiento térmico.
- Para la simulación de flujo de calor a través de del visor se recomienda hacerlas en un software más potente, que permita calcular la razón de transferencia de calor por radiación a través de este, para poder obtener datos más precisos.

REFERENCIAS

1. AUCCAPURE, L, UMERES, B. Evaluación de las buenas prácticas de almacenamiento de Medicamentos que requieren cadena de frío y nivel de Conocimiento del personal encargado de su manejo en Essalud - Cusco en el período septiembre a noviembre del 2018. Tesis (Título profesional de químico farmacéutico). Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, 2019, 173 pp. [fecha de consulta 18 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/4538>.
2. BELTRAN, J. Potencial de un sistema de refrigeración solar por absorción en zonas de alta irradiación en Colombia para cargas de refrigeración médicas y conservación de alimentos. Tesis (Maestría en Ingeniería). Bogotá: Universidad Libre, 2018. 181 pp. [fecha de consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: <https://repository.unilivre.edu.co/handle/10901/15916>
3. CATUCUAGO, N. y TIPAN, L., Diseño y construcción de una cámara frigorífica modular de 9.6 m³ para conservación de vacunas. Tesis (Titulo Ingeniero Mecánico). Ecuador: Universidad politécnica salesiana sede Quito, 2015, 155 pp. [fecha de consulta 16 mayo del 2020]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9248>.
4. CAMARGO, A, et al. Potencial Termodinámico de un Refrigerador Intermitente por Adsorción bajo las Condiciones Climáticas de Riohacha, en Colombia. Información tecnológica [en línea]. Abril, 2019, 30(5), 140-146 [fecha de consulta: 17 de mayo 2020]. ISSN: 139-146. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v30n5/0718-0764-infotec-30-05-00139.pdf>
5. CARMONA, J., et al. Conservación de medicamentos termolábiles [en línea]. Arriaxaca, Hospital clínico universitario “Virgen de la Arriaxaca”. 2017, [fecha de consulta: 15 mayo 2020]. ISBN: 978-84-17306-24-3 Disponible en: <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/termolabil2017/ConservacionTermolabiles2017.pdf>
6. MARTÍNEZ, C. Estudio experimental y simulación de sistemas de climatización solar mediante ciclos de absorción. Tesis (Doctor en Tecnologías Industriales y de

Telecomunicación). Elche, Universidad Miguel Hernández de Elche, 2018. 130 pp. [fecha de consulta; 18 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=150498>

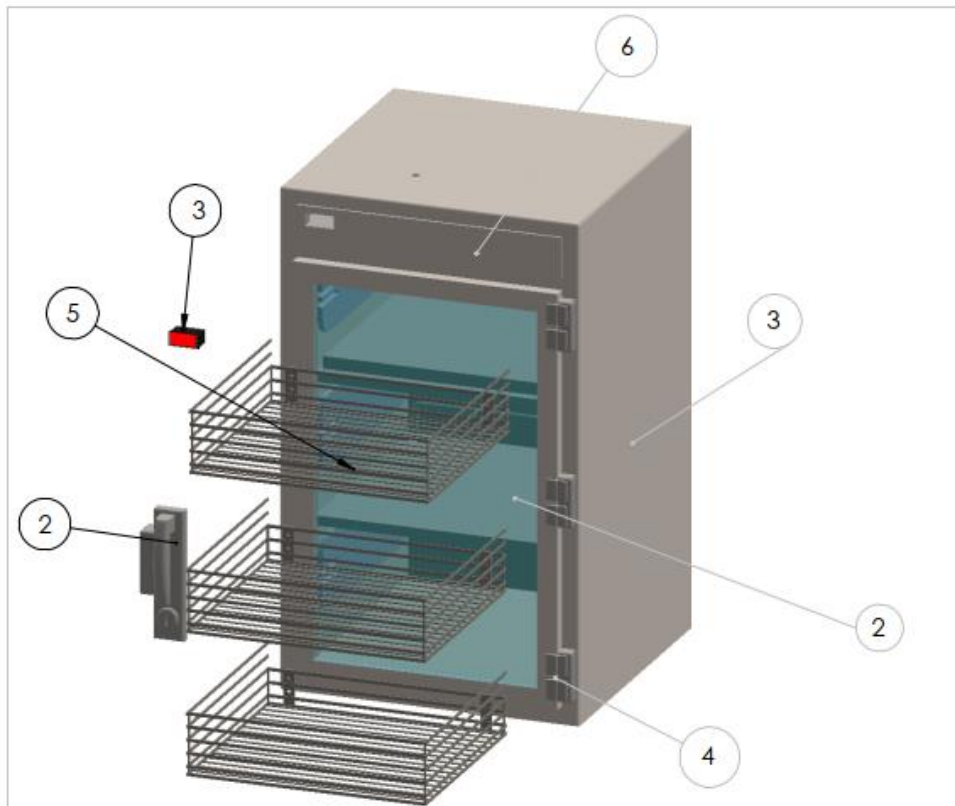
7. ARIAS, C. Potencial de un sistema de refrigeración solar por absorción en zonas de alta irradiación en Colombia para cargas de refrigeración médicas y conservación de alimentos. Maestría (Ingeniería con énfasis en energías alternativas). Bogotá, Universidad Libre, 2018, 181 pp. [fecha de consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en <http://hdl.handle.net/10901/15916>
8. VELARDE, F. Diseño de una cámara frigorífica para mangos 20 toneladas. Tesis (Título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista). Arequipa: Universidad nacional tecnológica de Lima Sur, 2017. 112pp. [fecha de consulta 19 mayo 2020]. Disponible en: <http://repositorio.untels.edu.pe/handle/UNTELS/217>
9. JORDÁN, E. Diseño de tres cámaras frigoríficas de conservación y una de congelación para el almacenamiento de productos avícolas situada en la población de Hellín (Albacete). Tesis (Título profesional de ingeniero mecánico). España, Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2018. 186 pp. [fecha de consulta: 19 mayo 2020]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/107004>
10. YÉPEZ, A; PETRO, A. Diseño y construcción de un sistema de refrigeración por absorción intermitente empleando energía solar para la conservación de frutas tropicales en el departamento de córdoba. Tesis (Título de Ingeniero Mecánico). Córdoba: Universidad de Córdoba, 2015. 101 pp. [fecha de consulta: 18 mayo de 2020]. Disponible en: <https://repositorio.unicordoba.edu.co>
11. R. M. N.º 497-2017 / MINSA. Contiene Notas Nº 445-2017-DGIESP/MINSA y notas Nº 239-2017-DGIESO/MINNSA, en esta Resolución Ministerial se establece la NTS para el manejo de Cadena de Frío en las Inmunizaciones [en línea]. Disponible en: http://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/RM%20479-2017-MINSA%20Y%20NTS%20136-MINSA-2017-

DGIESP%20MANEJO%20DE%20CADENA%20DE%20FRIO%20EN%20INMUNZACIONES.PDF


12. MACEDO, J. Problemática de la salud en los pueblos amazónicos. Resumen Ejecutivo. Perú: DIRESA, 15 pp [fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020]. Disponible en: [http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/GrupParlamentarios/indigena.nsf/vf08web/6DE4E904CFB20F6905257674007F2CB5/\\$FILE/Art.PIACongr.JoseMacedo.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/Sicr/GrupParlamentarios/indigena.nsf/vf08web/6DE4E904CFB20F6905257674007F2CB5/$FILE/Art.PIACongr.JoseMacedo.pdf)

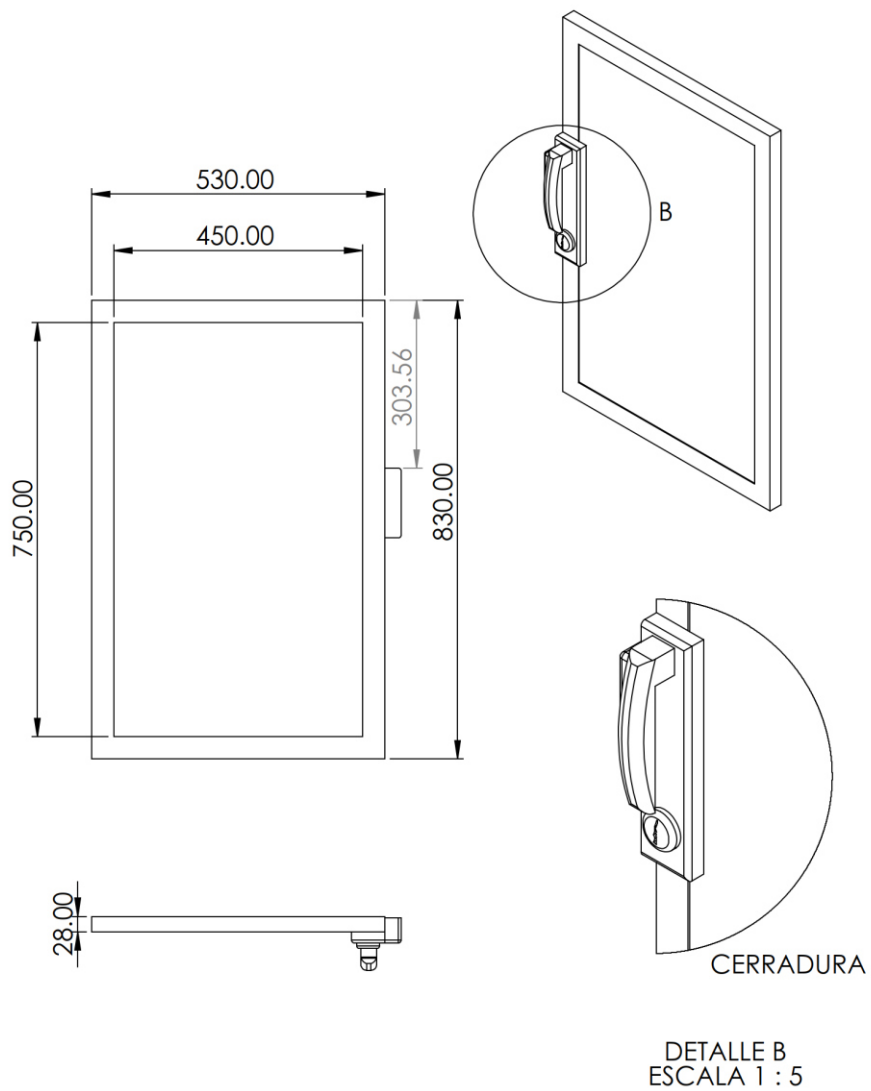
ANEXOS


Anexos 1: Planos Cámara frigorífica

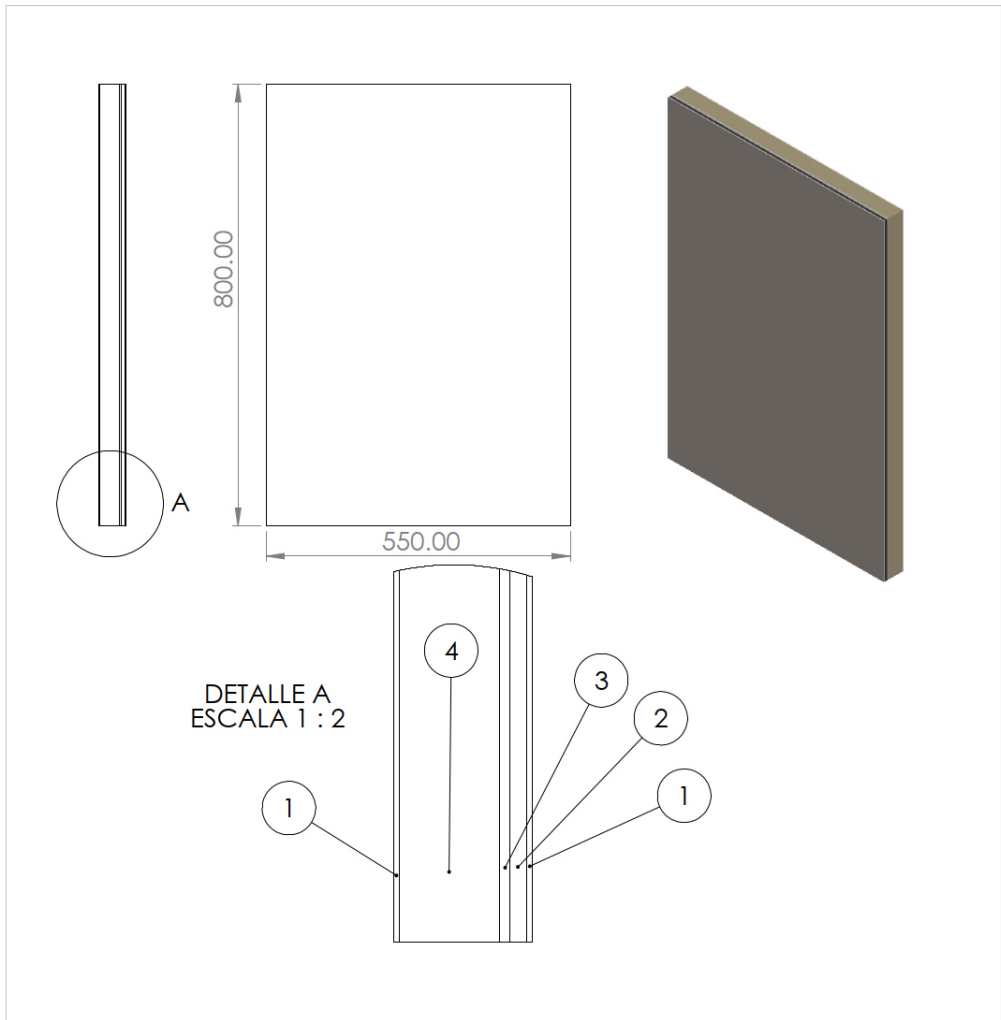


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	MEDIDOR DE TEMPERATURA	1
2	VISOR	1
3	PARED	3
4	BISAGRA	3
5	CANASTA inox	3
6	BASE SUP E INF	2


FACULTAD	DIBUJADO:	APROBADO:	FECHA
MECÁNICA	J. MANCHEGO URQUIZO, C	QUISPE CABANA, R	04/12/2020
 UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO:	ENSAMBLAJE CÁMARA	
	QUISPE CABANA, R	CÁMARA DE REFRIGERACIÓN	ESCALA 1:10 N° PLANO 1

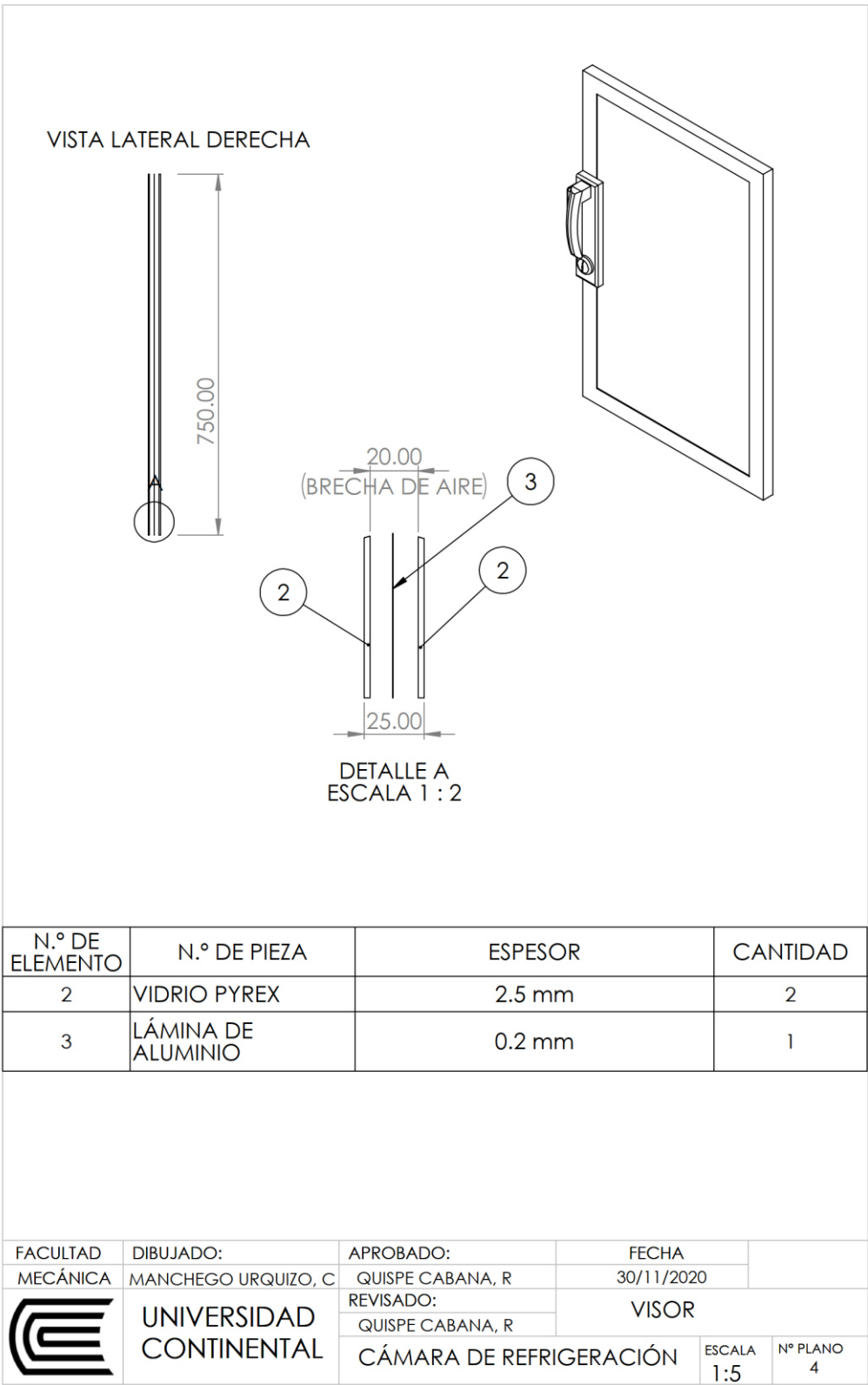


FACULTAD	DIBUJADO:	APROBADO:	FECHA	
MECÁNICA	MANCHEGO URQUIZO, C	QUISPE CABANA, R	30/11/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO:	VISOR (VENTANA)	
		QUISPE CABANA, R		
		CÁMARA DE REFRIGERACIÓN	ESCALA 1:10	Nº PLANO 2




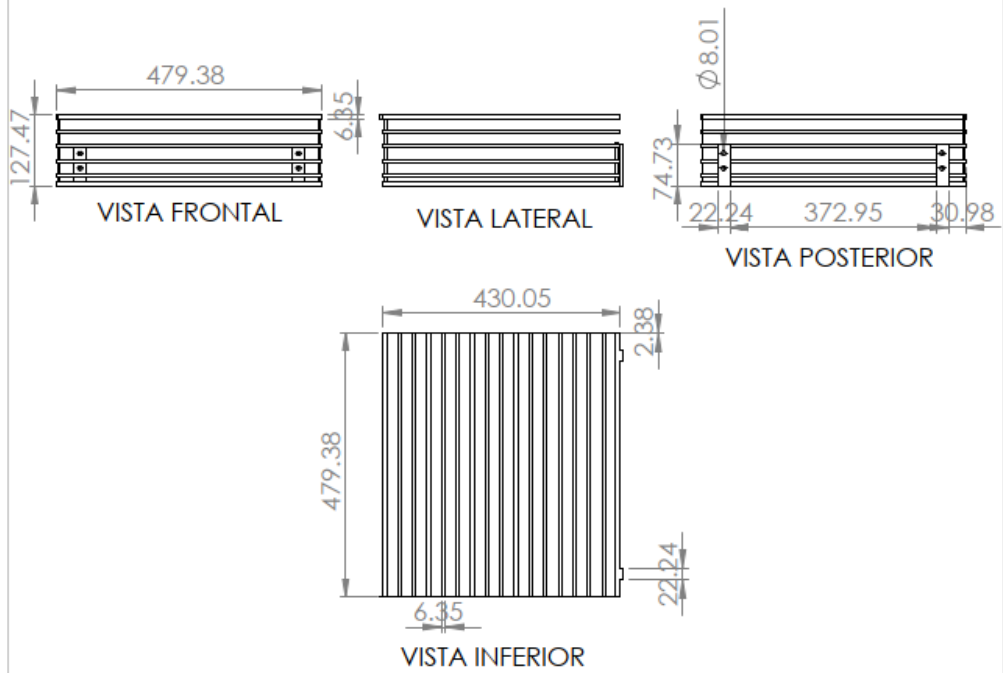
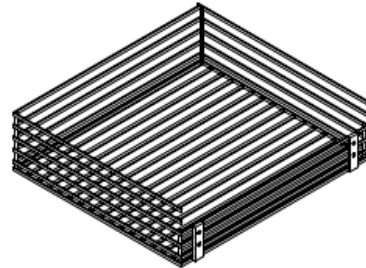
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	ESPESOR	CANTIDAD
1	ACERO INOX AISI 430	2 mm	2
2	CAUCHO EXPANDIDO RÍGIDO	6 mm	1
3	FIBRA DE VIDRIO	4 mm	1
4	ESPUMA DE POLIURETANO	36 mm	1


FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: VERA CANALES, J	APROBADO: QUISPE CABANA, R	FECHA 25/11/2020	
 UNIVERSIDAD CONTINENTAL		REVISADO: QUISPE CABANA, R	PARED LATERAL CÁMARA DE REFRIGERACIÓN	

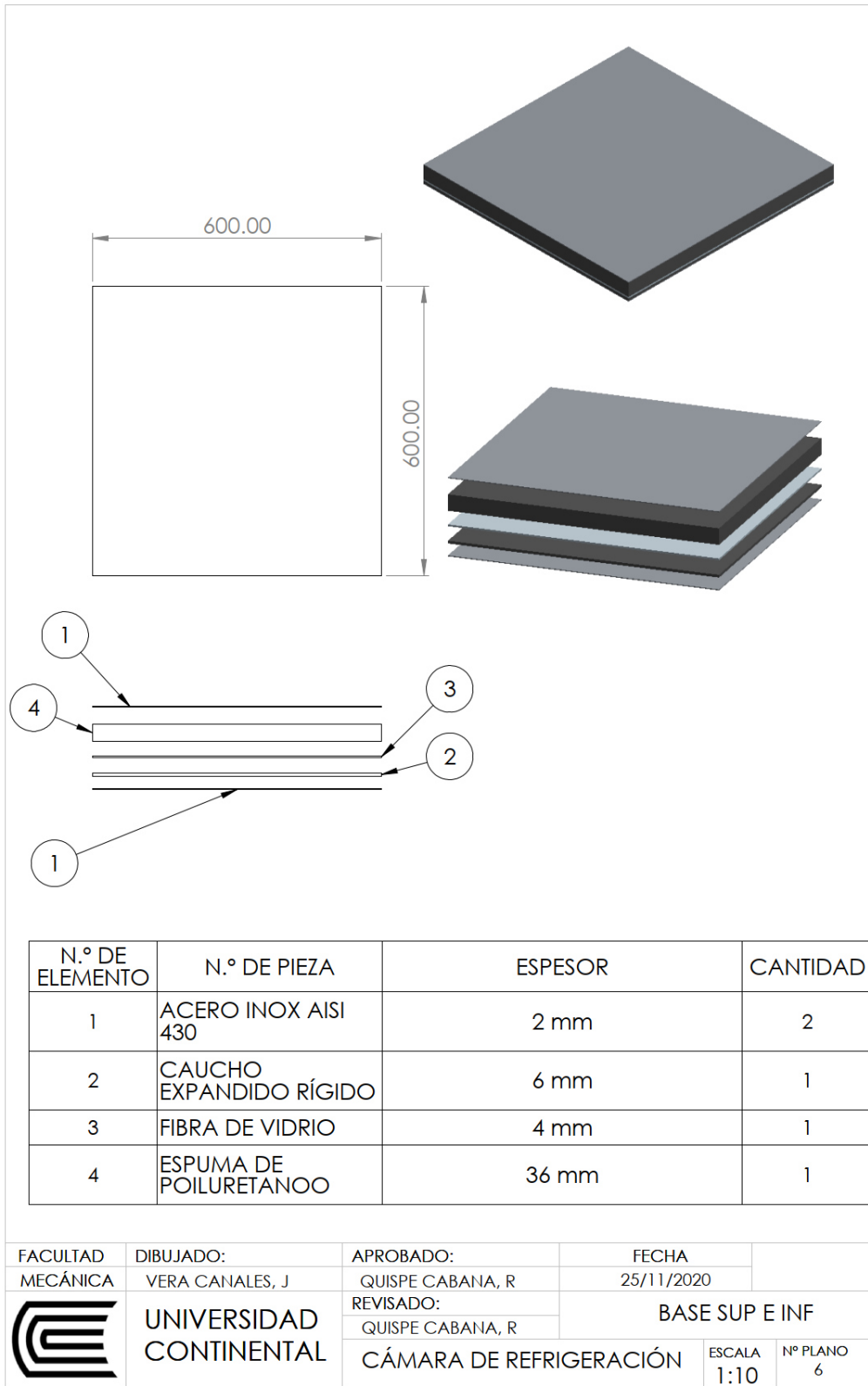


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	ESPESOR	CANTIDAD
2	VIDRIO PYREX	2.5 mm	2
3	LÁMINA DE ALUMINIO	0.2 mm	1


FACULTAD	DIBUJADO:	APROBADO:	FECHA	
MECÁNICA	MANCHEGO URQUIZO, C	QUISPE CABANA, R	30/11/2020	
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO:	VISOR	
		QUISPE CABANA, R		
		CÁMARA DE REFRIGERACIÓN	ESCALA	Nº PLANO
			1:5	4

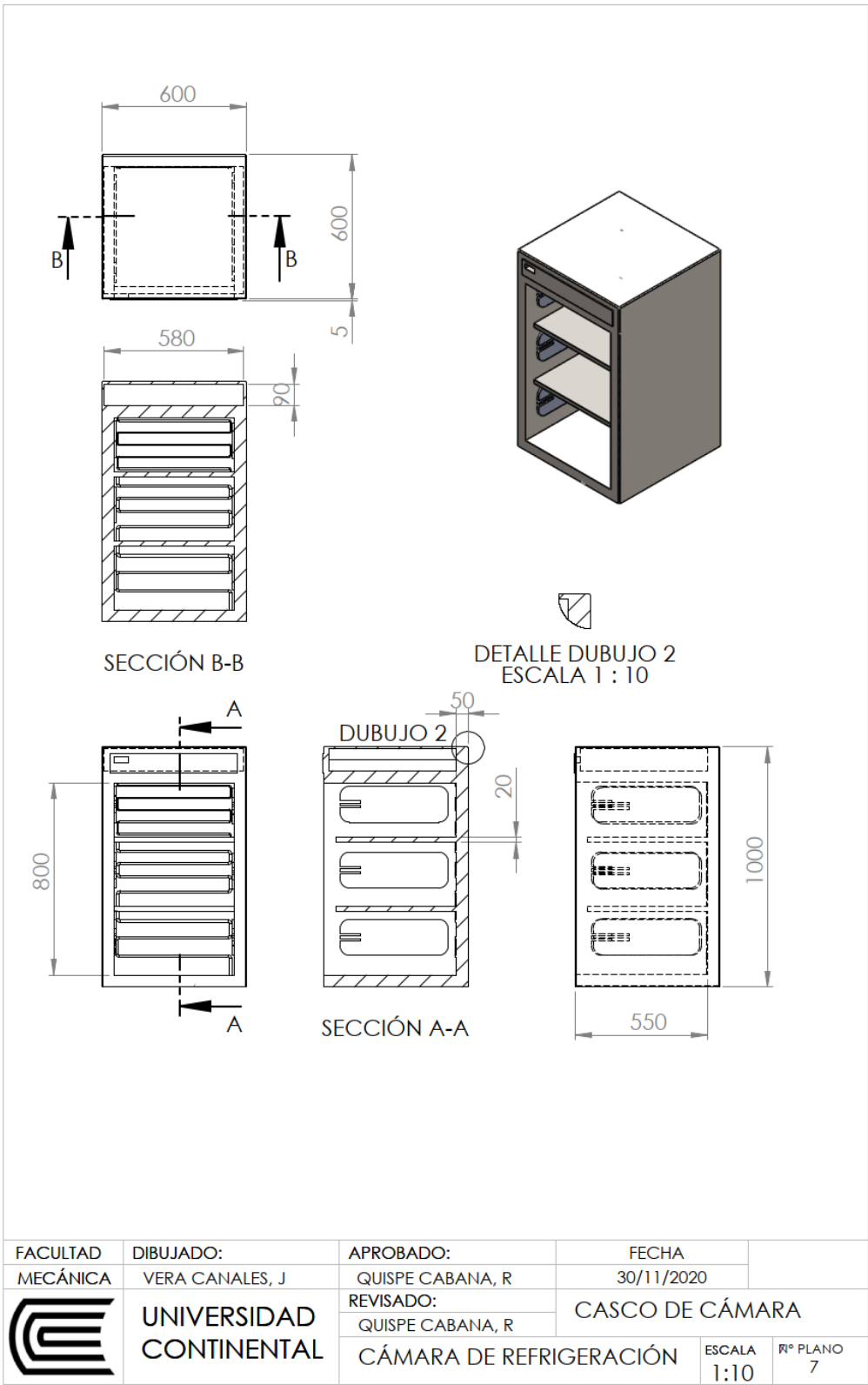


FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: VERA CANALES, J	APROBADO: QUISPE CABANA, R	FECHA 01/12/2020	ASTI/1 A36 ACERO
	UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: QUISPE CABANA, R	CANASTILLA	
		CÁMARA DE REFRIGERACIÓN		

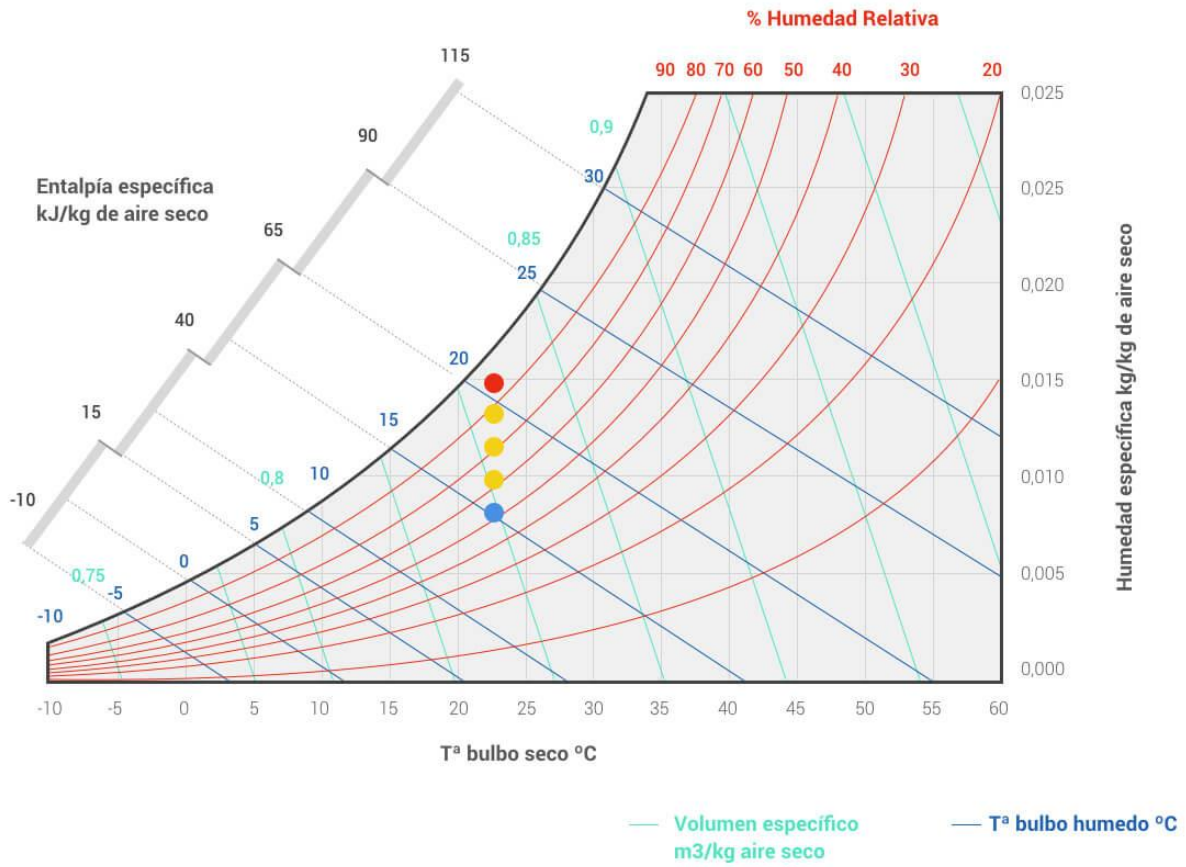


N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	ESPESOR	CANTIDAD
1	ACERO INOX AISI 430	2 mm	2
2	CAUCHO EXPANDIDO RÍGIDO	6 mm	1
3	FIBRA DE VIDRIO	4 mm	1
4	ESPUMA DE POLIURETANO	36 mm	1

FACULTAD MECÁNICA	DIBUJADO: VERA CANALES, J	APROBADO: QUISPE CABANA, R	FECHA 25/11/2020
 UNIVERSIDAD CONTINENTAL	REVISADO: QUISPE CABANA, R	BASE SUP E INF CÁMARA DE REFRIGERACIÓN	



Anexos 2: Carta psicométrica Humedad - Temperatura



Anexos 3: Fichas Técnicas

Medidor de temperatura	
Modelo	ZL-6210A
Descripción	Controlador de temperatura, económico, (almacenamiento frigorífico)
Alimentación	185~245Vac, 50/60Hz
Sensor	NTC, 1.5 Metros
Rango	-40~120 °C
Tamaño	57.8 x 25.7 x 34.7 mm
Materiales	PC + ABS No inflamable
Resistencia	IP65

Cerradura de Puerta	
Modelo	F57
Descripción	Cerradura homologada
Alimentación	-----
Sensor	-----
Rango	-----
Tamaño	100 x 150 x 70 mm
Materiales	Acero Inoxidable
Resistencia	-----
Peso	1 kg