



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos

Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad las lagunas

Trabajo de Titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico

AUTÓR:

José Luis Quizhpe Quizhpe

DIRECTOR:

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta MSc.

Loja - Ecuador

2024

Certificación

Loja, 31 de enero de 2024

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad las lagunas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **José Luis Quizhpe Quizhpe**, con **cédula de identidad Nro. 1105175937**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **José Luis Quizhpe Quizhpe**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'José Luis Quizhpe Quizhpe', written in a cursive style.

Firma:

C. I: 1105175937

Fecha: 30/01/2024

Correo electrónico: jlquizhpeq@unl.edu.ec

Teléfono: 0980771243

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo, **José Luis Quizhpe Quizhpe**, declaro ser el autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad las lagunas**; como requisito para optar el título de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la reproducción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tengan convenio la Universidad. La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o Copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, suscribo, en la ciudad de Loja, a los treinta y un días del mes de enero del dos mil veinticuatro



Firma:

Autor: José Luis Quizhpe Quizhpe,

C. I: 1105175937

Correo electrónico: jlquzhpeq@unl.edu.ec

Teléfono: 0980771243

Dirección: Saraguro

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director de Trabajo de Titulación: Ing. Darwin Giovanni Tapia Peralta MSc.

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios, mis padres y a mi familia. A Dios por darme fuerza y cuidarme en los momentos más difíciles, a mis padres por darme todo su apoyo a lo largo de mi vida quienes han estado atento de mi bienestar y dándome su apoyo en el transcurso de mi educación y a toda mi familia por estar pendientes de mí en cada reto que se me presentó sin dudar ni un solo momento de mi capacidad.

José Luis Quizhpe Quizhpe

Agradecimiento

Gracias a los docentes quienes a lo largo de mi etapa de estudio supieron guiarme, en especial al ingeniero Darwin Giovanni Tapia Peralta quien supo guiarme en el transcurso de la realización de mi trabajo de titulación, y a todos los compañeros quienes supieron brindarme su apoyo. A todas las personas quienes de una u otro manera me apoyaron cuando lo necesitaba.

José Luis Quizhpe Quizhpe

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	x
Índice de figuras	xi
Índice de anexos	xii
1 Título	1
2 Resumen	2
Abstract	3
3 Introducción	4
4 Marco teórico	6
4.1 Capítulo I: historia de la refrigeración.....	6
4.1.1 Termodinámica.....	6
4.1.2 Calor	6
4.1.2.1 Calor latente.....	7
4.1.2.2 Calor sensible	7
4.1.3 Temperatura.....	7
4.1.4 Transferencia de calor	7
4.1.5 Definición de Refrigeración	8
4.1.6 Principio de la refrigeración.	8
4.1.7 Ciclo mecánico de refrigeración.....	9
4.1.8 Ciclo de Carnot de refrigeración	10
4.2 Capítulo II: Refrigerantes, Lubricantes, Tuberías y accesorios.....	11
4.2.1 Refrigerantes.....	11

4.2.2	Lubricantes	14
4.2.3	Tuberías y accesorios.....	14
4.3	Capítulo III: Clasificación de los cuartos fríos	14
4.3.1.1	Refrigeración domestica	14
4.3.1.2	Refrigeración comercial	14
4.3.1.3	Refrigeración industrial	15
4.3.1.4	Refrigeración marina y de transportación	15
4.3.1.5	Acondicionamiento de aire	15
4.3.2	Cuartos fríos de refrigeración	15
4.3.2.1	Resistencia térmica	16
4.3.2.2	Resistencia térmica de la capa de aire superficial	16
4.4	Proceso de elaboración de la cerveza artesanal	16
4.4.1	Carga térmica de refrigeración.	17
4.4.2	Transmisión de calor por conducción.....	18
4.4.3	Perdidas de calor por radiación	19
4.4.4	Cargas transmisión de calor por Producto.....	19
4.4.5	Carga liberada por luminarias y máquinas eléctricas	20
4.4.5.1	Calor cedido por motores	21
4.4.6	Cargas de transferencia de calor por Infiltración y ventilación.....	21
4.4.7	Cargas por personas.....	23
4.4.8	Calor latente.....	24
4.4.9	Carga total de refrigeración requerida	25
4.4.10	Capacidad de refrigeración.....	26
4.4.11	Efecto refrigerante	26
4.4.12	Flujo másico	26
4.4.13	Potencia del compresor.....	27
4.4.14	Período de Recuperación de la inversión	27
5	Metodología.....	28
5.1	Área de trabajo.....	28
5.2	Materiales y Equipos	28
5.3	Métodos	29
5.4	Procedimientos	29
5.5	Flujo Grama de trabajo	32

6	Resultados	33
6.1	Levantamiento de información	33
6.1.1	Requerimientos de la planta de producción.....	35
6.1.2	Requerimiento básico del cuarto frío de refrigeración	36
6.1.3	Cálculo de las cargas de refrigeración	36
6.1.3.1	Carga de transferencia de calor por conducción a través de paredes, piso, puerta y techo	36
6.1.3.2	Cargas por personas.....	49
6.1.3.3	Cargas por infiltraciones y ventilación.....	49
6.1.3.4	Calor cedido por luminarias	51
6.1.3.5	Calor cedido por motores	52
6.1.3.6	Carga del producto.....	52
6.1.3.1	Calor latente.....	53
6.1.3.2	Cargas de transferencia de calor por radiación.....	53
6.1.3.3	Carga total de refrigeración requerida en el sistema	53
6.1.3.1	Selección de los componentes de refrigeración.....	54
6.1.4	Análisis de costos del proyecto	59
6.2	Resumen de los cálculos.....	62
7	Discusión.....	63
8	Conclusiones.....	65
9	Recomendaciones.....	66
10	Bibliografía.....	67
11	Anexos.....	70

Índice de tablas:

Tabla 1. Número medio de sustituciones de aire en 24 horas para recintos de almacenamiento debido a la apertura puertas o infiltraciones (por encima de 0°C ).	.....22
Tabla 2. Factores de calor sensible para cargas de enfriamiento debido a personas	.....24
Tabla 3. Características la planta de producción de cerveza artesanal	.....35
Tabla 4. Datos de las dimensiones de la planta de producción	.....37
Tabla 6. Factores a utilizarse.	.....51
Tabla 7. Características de los niveles en el ciclo termodinámico	.....55
Tabla 8. Factor de corrección de refrigerante	.....57
Tabla 9. Factor de corrección respecto a la elevación	.....57
Tabla 10. Costos de equipos de refrigeración mano de obra y servicio técnico	.....60
Tabla 11. Costo por mano de obra	.....60
Tabla 12. Valores del equipo, materiales, mano de obra y servicio técnico	.....61
Tabla 13. Periodo de retorno de la inversión	.....62
Tabla 14. Cargas de refrigeración para el cuarto frío	.....62

Índice de figuras:

Figura 1. Diagrama Presión (P) - entalpia (h) para un ciclo de refrigeración por compresión de vapor real.....	10
Figura 2. Ciclo de refrigeración.....	10
Figura 3. Esquema de un refrigerador de Carnot y diagrama T-s del ciclo invertido de Carnot	11
Figura 4. Tipos de refrigerantes.....	12
Figura 5. Ecuación para designar refrigerantes Halogenados.	13
Figura 6. clasificación de los refrigerantes por su composición química – ashrae 34. ..	13
Figura 7. Infiltración en grietas alrededor de ventanas o puertas.....	23
Figura 8. Tasas de ganancia de calor debida a los ocupantes del recinto acondicionado	24
Figura 9. Diagrama Psicrométrico.....	25
Figura 10. Mapa del cantón Saraguro.	28
Figura 11. Comunidad de las Lagunas	33
Figura 12. Imagen de la planta de producción de cerveza artesanal por la parte interna	34
Figura 13. Ubicación del cuarto frio según los puntos cardinales.....	34
Figura 14. Temperatura promedio de la ciudad de Saraguro.	36
Figura 15. Red de resistencias térmicas y la analogía eléctrica.	37
Figura 16. Características de los materiales que forman las paredes.	39
Figura 17. Requisitos de envolvente para la zona climática 4.	40
Figura 18. Materiales que forma el techo del cuarto frio.	47
Figura 19. Ciclo de refrigeración del refrigerante R132a.....	54
Figura 20. Factor de calor presión.	56
Figura 21. Capacidades de válvulas de expansión termostática.....	59

Índice de Anexos:

Anexo 1. Valores de conductividades	70
Anexo 2. Valores de conductividades	71
Anexo 3. Valores de conductividad térmica	72
Anexo 4. Valores del coeficiente de transmisión de calor del fluido caliente a la pared (h1), de la pared al fluido frío (h2).	73
Anexo 5. Propiedades del agua	74
Anexo 6. Propiedades de aire	75
Anexo 7. Radiación solar a través de vidrio factores de ganancia máxima de calor solar para vidrio. BTUht ² latitudes norte.....	76
Anexo 8. Coeficientes de sombreado para vidrio con o sin sombreado interior por persianas venecianas enrollables	77
Anexo 9. Factores de carga de enfriamiento para vidrio sin sombreado interior (incluye vidrio reflector y absorbente de calor).....	78
Anexo 10. Propiedades del líquido y vapor saturados para el R-134a.....	79
Anexo 11. Planta de producción de cerveza artesanal	80
Anexo 12. Tanque de cerveza artesanal	81
Anexo 13. Modelo del evaporador le marca INTARCON.....	82
Anexo 14. Unidad condensadora Danfoss	83
Anexo 15. Certificado de traducción del resumen de español al inglés.....	84

1 Título

**Diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal
en la ciudad de Saraguro comunidad Las Lagunas**

2 Resumen

El presente trabajo de titulación contiene información relevante sobre los sistemas de refrigeración, compresión, condensación, evaporación, expansión y los cálculos que se debe tener en consideración para un diseño correcto de un cuarto frío, en el presente trabajo el objetivo fue el diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad Las Lagunas. Se planteó una metodología cuantitativa para la recolección de información de los parámetros físicos de la planta de producción. Consiguientemente se procedió con los cálculos de las cargas de refrigeración como son: cargas por producto, cargas por infiltración y ventilación, cargas por transferencia de calor, cargas por equipos eléctricos, cargas por personas, añadiendo un factor de seguridad, posteriormente se realizó un análisis económico de los costos de los quipos existentes en el mercado que cumplan con los requerimientos y la demanda de la planta, consiguiente se calculó el periodo de recuperación de la inversión. La carga de refrigeración obtenida es de 4 kW, cantidad de cerveza artesanal que se requiere enfriar es 120 litros, el costo de la inversión inicial es \$ 10438,40.

Palabras claves: Diseño, proceso de refrigeración, cargas térmicas de refrigeración, cuartos fríos, ciclo de refrigeración.

Abstract

The present titling work contains relevant information about the refrigeration, compression, condensation, evaporation, expansion systems and the calculations that must be taken into consideration for a correct design of a cold room. In the present work the objective was the design of a cold room for the craft beer production plant in the city of Saraguro community Las Lagunas. A quantitative methodology was proposed for collecting information on the physical parameters of the production plant. Consequently, the calculations of the cooling loads were carried out, such as: loads per product, loads by infiltration and ventilation, loads by heat transfer, loads by electrical equipment, loads by people, adding a safety factor, subsequently an analysis was carried out economic cost of the existing equipment on the market that meets the requirements and demand of the plant, consequently the recovery period of the investment was calculated. The cooling load obtained is 4 kW, the amount of craft beer that needs to be cooled is 120 liters, the initial investment cost is \$10438,40.

Keywords: Design, refrigeration process, refrigeration thermal loads, cold rooms, refrigeration cycle.

3 Introducción

El presente trabajo de investigación se refiere a los cuartos fríos de refrigeración, de una planta de producción de cerveza artesanal ubicada en la comunidad Las Lagunas en la ciudad de Saraguro, para solucionar un problema térmico de refrigeración.

Con la realización del presente trabajo de titulación se busca mejorar las condiciones de fermentación en la planta de producción, para obtener un ambiente óptimo que se requiere para lograr tener el producto en menor tiempo y la fermentación sea la requerida para obtener un producto de calidad.

Cuando hablamos de refrigeración nos imaginamos máquinas que sirven o se utilizan para mantener una temperatura adecuada donde se puede conservar los alimentos perecibles por largos periodos de tiempo.

El ser humano se ha visto obligado a encontrar diferentes medios para la mantención de los productos por un largo periodo de tiempo, sin correr el riesgo de que estos puedan dañarse. “Los métodos de refrigeración han ido evolucionando con el pasar de los años, empezando con el uso de hielo natural el cual es producido en la naturaleza, hasta lo que se tiene hoy en día, cuartos refrigerados o cuartos fríos” (Ordoñez, 2022, p. 2).

El Ecuador es un país con una gran diversidad de productos agrícolas, pesqueros y sectores que están innovando donde se requiere mantener los productos a temperaturas bajas.

Es importante que en estos sectores industriales se implementen sistemas de refrigeración, ya que son esenciales para mantener la frescura y la calidad de productos.

En la ciudad de Saraguro en la comunidad de Las Lagunas existe muchos emprendimientos, uno de ellos es la de producción de cerveza artesanal. Mediante el proyecto de tesis he considerado aportar con el que requiere el diseño de un cuarto frío que se necesita para su producción. Los sistemas de refrigeración son una herramienta clave para muchos sectores industriales, para esto necesario realizar un análisis para definir qué tipo de sistema de refrigeración es el adecuado dependiendo de las cargas térmicas involucradas. Además, se debe tener en cuenta siempre las normas de regulación de uso de refrigerantes como criterio de diseño.

Objetivos de investigación

Objetivo general

Diseñar un cuarto frio para la producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad las Lagunas.

Objetivos específicos

- Definir y levantar información de la planta de producción de cerveza artesanal.
- Diseñar el sistema de refrigeración de acuerdo a los parámetros de la demanda.
- Definir el periodo de retorno de los gastos de inversión.

4 Marco teórico

4.1 Capítulo I: historia de la refrigeración

En la antigüedad, el hombre busco la forma de conservar los alimentos de su cacería mediante cuevas.

Según algunos criterios, en tiempos antiguos existían cuevas bien aisladas donde se colocaba hielo, para conservar en verano los alimentos que requerían estar en temperaturas bajas. Otras culturas en ser pioneras en la conservación del frío fueron los griegos y romanos, los cuales procedían a comprimir la nieve en pozos con ramas de árboles y paja. Tras ser comprimida, la nieve pasaba a convertirse en hielo, conservándose también para su utilización en los meses más calurosos. Curiosamente esta técnica ha seguido perdurando a lo largo de los años hasta el siglo XX (Siles, 2015, p. 9).

Puesto que la humanidad cada día va evolucionando y creando nuevos inventos, maneras de conservar los alimento es así el físico estadounidense John Corrie, creo la primera máquina de refrigeración.

El sistema utilizaba el método de circulación de aire para enfriar. Se consideraba de modo general que el hombre de negocios estadounidense Alexander C. Twinning fue el iniciador de la refrigeración comercial en 1856. Poco después, un australiano, James Harrison, introdujo la refrigeración por compresión del vapor en la industria cervecera y en los frigoríficos. Posteriormente, en 1859, Ferdinand Carré desarrollo en Francia un sistema de refrigeración por absorción del amoniaco mediante un procedimiento térmico.

Los refrigeradores de Ferdinand Carré fueron utilizados ampliamente en la industria.(Simulación y Usal, 2019, p.25)

4.1.1 *Termodinámica*

La termodinámica es la ciencia que estudia la relación que existe entre calor y trabajo que hay entre las partículas que hay en la naturaleza y que forman los cuerpos.

A la descripción microscópica provista por las leyes fundamentales de la naturaleza, llamados Leyes Termodinámicas, que rigen nuestra existencia aquí en la tierra, varios de los cuales son básicos para el estudio de la refrigeración. La primera y la más importante de estas leyes dice: La energía no puede ser creada ni destruida, sólo puede transformarse de un tipo de energía en otro. (Zélis, 2018, p. 6)

4.1.2 *Calor*

El calor se define como la forma de energía que se transfiere entre dos cuerpos u objetos que se encuentran a una diferencia de temperatura. “Una interacción de energía

es calor sólo si ocurre debido a una diferencia de temperatura. De ello se deduce que no hay ninguna transferencia de calor entre dos sistemas que se encuentran a la misma temperatura” (Ribeiro, 2014, p. 1).

4.1.2.1 Calor latente

El calor latente es el cambio de entalpia al pasar de estado líquido a estado de vapor o viceversa.

4.1.2.2 Calor sensible

“Cuando el calor se elimina o se agrega a una sustancia se produce un cambio de temperatura, dicho cambio de entalpia en la sustancia se llama cambio de calor sensible”(Blanco, 2017, p. 7).

4.1.3 Temperatura

Para describir la temperatura se habla de forma subjetiva puesto que se utiliza para describir si un cuerpo esta frio o caliente las cuales indican temperatura alta y baja respectivamente.

Estos términos no tienen un significado objetivo consistente: Podemos apreciar variaciones de temperatura de acuerdo con las variaciones de intensidad de estas sensaciones, pero el sentido del tacto carece de sensibilidad y alcance necesarios para dar una forma cuantitativa de esta magnitud. (Beléndez Vázquez, 2017, p. 4)

4.1.4 Transferencia de calor

La transferencia de calor se realiza donde existe una diferencia de temperatura entre dos cuerpos, existen tres formas de transferencia de calor conducción, convección y radiación.

La transferencia de calor por conducción se da desde las partículas más energéticas a las menos energéticas se da en líquidos y gases por las colisiones entre moléculas y en los sólidos por la vibración de los enlaces moleculares. Para que exista transferencia de calor por conducción se requiere un medio material.

La velocidad con la que se transfiere el calor por conducción se calcula por medio de la ley de Fourier de conducción de calor, como se indica en la **Ecuación** (1). La tasa de conducción de calor en una dirección es proporcional al gradiente de temperatura.(Huarisueca y Ramos, 2020, p. 7 al 8)

$$\frac{dQ_{cond}}{dt} = \dot{Q}_{cond} = -k_t A \frac{dT}{dx} (W) \quad (1)$$

Donde

\dot{Q}_{cond} : Tasa de transmisión de calor por conducción (W)

$-k_t$: Constante de conductividad térmica ($\frac{W}{m.k}$)

A: Área de contacto (m^2)

dT: Diferencia de temperatura (K)

dx: diferencia de longitud (m)

4.1.5 Definición de Refrigeración

Un sistema refrigeración es una máquina que al hacer circular un gas refrigerante se encarga de extraer calor de un entorno cerrado por medio del evaporador y lo expulsa al exterior mediante el condensador. Un sistema de refrigeración es una máquina que a través de un compresor realiza la acción de incrementar la presión de un fluido refrigerante, una diferencia de presiones dentro de un circuito cerrado modifica las propiedades del fluido que son aprovechadas para la extracción de calor, en objetos alojados en espacios cerrados donde se concentra una temperatura igual o mayor a la de ambiente, el calor se transporta hacia otro punto y es extraído o disipado por convección natural o forzada, el resultado del proceso es la disminución de temperatura por debajo de la ambiente o debajo de cero grados Celsius. (Huarisueca y Ramos, 2020, p. 374)

4.1.6 Principio de la refrigeración.

El principio de la refrigeración está basado de la siguiente manera un gas refrigerante al pasar por el evaporador a una baja temperatura extrae calor, pasa por el compresor en forma de gas a una baja temperatura y sale a una alta temperatura, ese calor es disipado al exterior por medio del condensador, luego por medio de la válvula de expansión se pasa de forma de gas de una temperatura alta a la forma de líquido a una temperatura baja.

El ciclo de refrigeración se basa en dos principios básicos conocidos primordialmente como la primera y la segunda ley de la termodinámica. La primera nos dice que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma. El segundo principio de la termodinámica establece que, si bien todo el trabajo mecánico puede transformarse en calor, no todo el calor puede transformarse en trabajo mecánico.

“La refrigeración está definida como la ciencia o técnica de producir y mantener temperaturas por debajo de la temperatura atmosférica local, aplicando esto a objetos y alimentos” (Bonilla et al., 2018, p. 4).

4.1.7 Ciclo mecánico de refrigeración

Los ciclos ideales de refrigeración por compresión de vapor tienen varios procesos y están constituidos por los siguientes elementos:

- Compresor
- Evaporador
- Condensador
- Válvula de expansión

Compresión 1-2: Mediante este proceso, el refrigerante ingresa al compresor a baja temperatura y baja presión en estado gaseoso. Este proceso se realiza mediante un compresor, estos compresores pueden ser de desplazamiento, tornillo, centrífugo o alternativo. (Huarisueca y Ramos, 2020, p. 25)

Condensación 2-3: El condensador es básicamente un intercambiador de calor. El calor se transfiere del refrigerante a un flujo de agua. Esta agua debe enfriarse constantemente para poder desempeñar la condensación efectivamente, por lo que debe ir a una torre de enfriamiento o cualquier otro dispositivo de enfriamiento. A medida que el refrigerante fluye a través del condensador, se encuentra en una presión constante.

Expansión 3-4: Cuando hablamos del ciclo de expansión en la refrigeración, el refrigerante ingresa a la válvula de estrangulamiento donde se expande y libera presión.

Por lo que la temperatura desciende de acuerdo a las necesidades requeridas. Las válvulas de estrangulamiento juegan dos roles cruciales en el ciclo de compresión de vapor. En primer lugar, mantienen un diferencial de presión entre los lados de baja y alta presión. En segundo lugar, controlan la cantidad de refrigerante líquido que entra al evaporador.

Evaporación 4-1: En esta etapa del ciclo de refrigeración por compresión de vapor, el refrigerante está a una temperatura más baja que su entorno. Por lo tanto, se evapora y absorbe el calor latente de vaporización. (Huarisueca y Ramos, 2020, p. 25)

La extracción de calor ocurre a baja presión y temperatura del refrigerante. El efecto de succión del compresor ayuda a mantener la baja presión.

A continuación, se indica el ciclo de refrigeración en el diagrama Ph, en un sistema de refrigeración por compresión de vapor real se muestra en la **Figura 1** y 2. (Huarisueca & Ramos, 2020, p. 26)

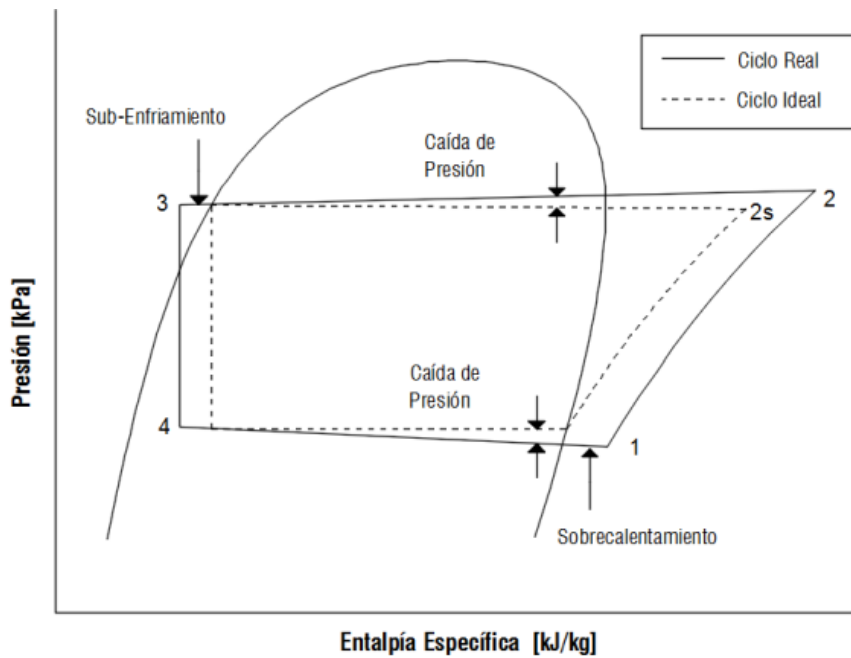


Figura 1. Diagrama Presión (P) - entalpía (h) para un ciclo de refrigeración por compresión de vapor real.

Fuente:(Huarisueca y Ramos, 2020)

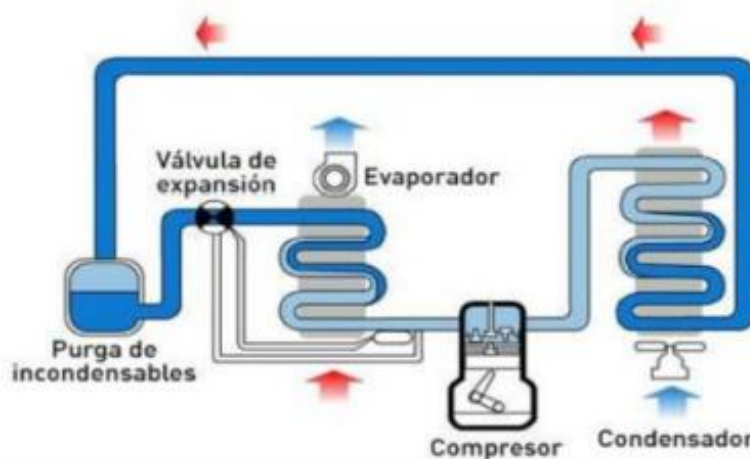


Figura 2. Ciclo de refrigeración.

Fuente: (Chuqui, 2019)

4.1.8 Ciclo de Carnot de refrigeración

Este es un ciclo o procesos teóricos térmicos y mecánicos de transformaciones que se utiliza para describir la eficiencia máxima de una máquina térmica la misma que

puede funcionar en determinados límites de temperaturas. “Este ciclo se basa en la conversión de calor en trabajo útil, y está compuesto por cuatro procesos reversibles: dos procesos isotérmicos reversibles y dos procesos isotrópicos como se muestra a continuación en la **Figura 3**” (Huarisueca y Ramos, 2020, p. 27).

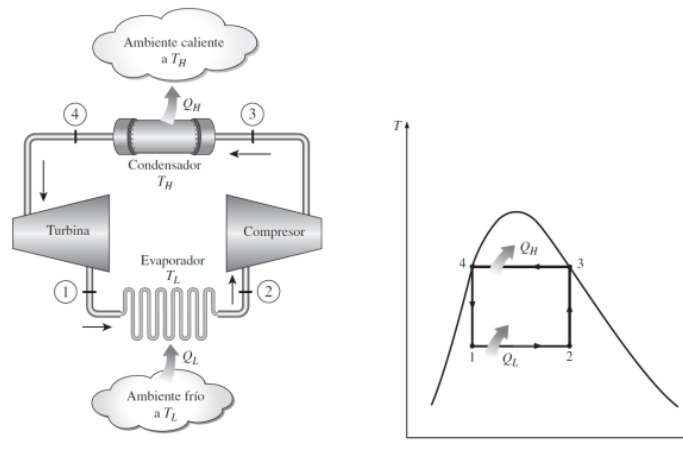


Figura 3. Esquema de un refrigerador de Carnot y diagrama T-s del ciclo invertido de Carnot

Fuente. (Huarisueca & Ramos, 2020a)

4.2 Capítulo II: Refrigerantes, Lubricantes, Tuberías y accesorios

4.2.1 Refrigerantes

Los refrigerantes son los encargados de absorber el calor en el ciclo de refrigeración ya que tienen propiedades mediante el cambio de una alta presión a una baja esto se logra mediante los componentes que forman el ciclo frigorífico.

Un refrigerante es cualquier tipo de cuerpo el cual cumple con la función de enfriar absorbiendo el calor de otro cuerpo. En todo sistema de refrigeración mecánica es esencial el uso de refrigerantes, los cuales deben poseer cualidades que les permitan cambiar su estado de líquido a vapor y de vapor a líquido. Se debe entender que los refrigerantes cambian según el tipo refrigeración que se usa, siempre y cuando cumplan con las características químicas, termodinámicas y físicas para dicho tipo de refrigeración.

Dependiendo de los valores obtenidos de presión, temperatura a la cual efectúe estos cambios, tendrían aplicaciones comerciales, en la **Figura 4** se muestra algunos refrigerantes que existe.(Rodrigo, 2013, p. 10)



Figura 4. Tipos de refrigerantes

Fuente:(Rodrigo, 2013)

5.2.1.1 *Refrigerantes orgánicos*

Existen algunos grupos de refrigerantes entre los cuales se encuentran los orgánicos. A continuación, se describen las familias de refrigerantes que pertenecen a este grupo.

Refrigerantes halogenados. Proceden de hidrocarburos saturados o insaturados con sustitución de átomos de carbono por halógenos (Cl, Br, F, I). Se dividen en:

CFC (Clorofluorocarbonos): Estos refrigerantes están compuestos por dos átomos Cl (Cloro), el cloro es un elemento que contribuyen a la destrucción de la capa de ozono.

HCFC (Hidroclorofluorocarbonos): están constituidos por un solo átomo de Cl, afectan la capa de ozono, esto es una solución intermedia, influyen en el calentamiento del planeta. Estos vienen denotados de la siguiente manera como. R-22, R-123, R-124 y R-141b.

HFC (Hidrofluorocarbonos): Estos refrigerantes están compuestos por un átomo hidrogeno, flúor y carbono, no son perjudiciales para la capa de ozono, algunos de estos afectan para que se dé sobre el planeta el efecto invernadero. Estos refrigerantes tienen la siguiente denominación. R-152a, R-32, R-125 y R-134a.

Estos refrigerantes se establecen a partir de la fórmula química iniciando con la letra R, seguido a continuación de una expresión numérica, con posibilidad de añadir al final una letra, para indicar que se trata de un isómero, quedando la expresión, así como se muestra en la **Figura 5** (Manual-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado, n.d.).

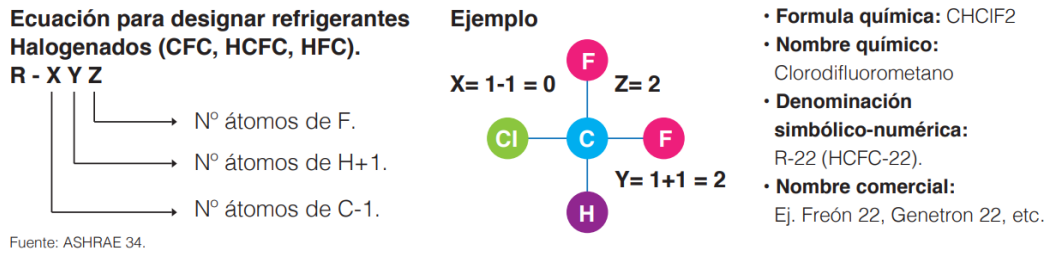


Figura 5. Ecuación para designar refrigerantes Halogenados.
Fuente: (Manual-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado, n.d.)

HFO (Hidro Fluoro Olefinas): Los HFO (hidrofluorolefinas) son la cuarta generación de gases con base de flúor. Estos refrigerantes están formados por átomos de hidrógeno, flúor y carbono conectados por al menos una unión doble entre los átomos de carbono.

Refrigerantes hidrocarburos (HC). Los siguientes refrigerantes están constituidos por carbono e hidrogeno con diferentes tipos de enlace. Los más comunes son: Etano (R-170), propano (R-290), Isobutano (R-600a) (Manual-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado, n.d.).

5.2.1.2 Refrigerantes inorgánicos.

Son combinaciones o compuestos químicos de los elementos que se encuentran en la tabla periódica que no contienen carbono en su composición, excepto el CO₂; los refrigerantes inorgánicos más comunes son el agua (R-718), amoníaco (R-717) y dióxido de carbono (R-744). Los compuestos inorgánicos tienen su asignación por la serie 700, para la clasificación de los refrigerantes como se indicamos en la **Figura 6.** (Manual-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado, n.d.)

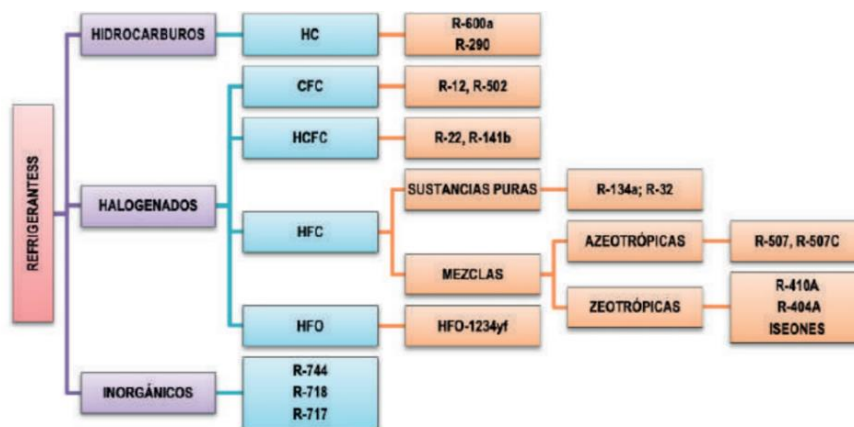


Figura 6. clasificación de los refrigerantes por su composición química – ashrae 34.
Fuente: (Manual-Refrigeracion-y-Aire-Acondicionado, n.d.)

4.2.2 Lubricantes

Los lubricantes tienen un papel de gran importancia en la refrigeración ya que de estos depende que los compresores tengan una larga vida de funcionamiento, ya que en gran medida depende de la calidad del aceite de refrigeración utilizado. La principal función de un aceite de refrigeración es lubricar adecuadamente todas las partes móviles del compresor de refrigeración. Según el tipo de compresor, el calor debe disiparse y las válvulas y cámaras de compresión deben estar selladas.

La interacción con otras sustancias, en particular el gas refrigerante, y las fluctuaciones entre temperaturas altas y bajas crean unas exigencias muy concretas en el lubricante del circuito. (FUCHS lubricantes Industriales, 2014)

4.2.3 Tuberías y accesorios

Las tuberías cumplen la función principal dentro del sistema de refrigeración ya que son los encargados de conducir el refrigerante a través del equipo, de estos dependen el buen funcionamiento del sistema.

La primera es tener la precaución de suministrar el flujo necesario y adecuado para el sistema, la segunda es evitar una alta caída de presión, la tercera es evitar la entrada de refrigerante líquido al compresor y la última es que el lubricante retorne al Carter del compresor. (Mendoza P. & Montañez B., 2020).

En los sistemas de refrigeración además de las tuberías existen cierto número de accesorios o dispositivos adicionales que se le agregan a los tramos de tubería. “Estos dispositivos adicionales son: filtros secadores, indicadores de líquido, separadores de aceite, silenciadores de descarga, recibidores, cambiadores de calor entre las líneas de líquido y succión, acumuladores de succión”(Mendoza P. & Montañez B., 2020).

4.3 Capítulo III: Clasificación de los cuartos fríos

De acuerdo a las aplicaciones la refrigeración se clasifica de la siguiente manera:

4.3.1.1 Refrigeración domestica

Cuando hablamos de refrigeración doméstica el campo es limitado principalmente a congeladores y refrigeradores caseros, estas unidades son de un tamaño reducido con capacidades del compresor que van desde 1/20 y 1/2 HP de potencia.

4.3.1.2 Refrigeración comercial

La refrigeración comercial hace referencia al diseño, la instalación y al mantenimiento de las unidades que se encuentran en establecimientos donde se requieren para almacenar, exhibir, procesar artículos de comercio perecibles, estos establecimientos pueden ser hoteles, restaurantes y otras instituciones. (DOSSAT, 2001)

4.3.1.3 Refrigeración industrial

A la refrigeración industrial muchas veces se la confunde con la refrigeración comercial, pero las aplicaciones industriales son mucho más grandes que requieren de personal para su servicio, las aplicaciones comunes son plantas de hielo, grandes plantas donde se empaacan alimentos, cervecerías, lecherías, refinerías de petróleo, plantas químicas, etc.

4.3.1.4 Refrigeración marina y de transportación

Esta refrigeración se la realiza en los barcos donde se transporta productos perecibles y barcos pesqueros, la refrigeración de transportación se realiza en camiones donde se tiene que trasportar productos a largas distancias, así como también en furgones refrigerados.(DOSSAT, 2001)

4.3.1.5 Acondicionamiento de aire

Se llama acondicionamiento de aire para confort a aquellos donde su función principal es la de aplicación de aire para confort humano estos pueden ser: Escuelas edificio, aviones, trenes autobuses, edificios públicos, etc. Mientras que la aplicación de acondicionamientos del aire industrial no tiene límites.(DOSSAT, 2001)

4.3.2 Cuartos fríos de refrigeración

Un cuarto frío de refrigeración es un espacio de almacenamiento de productos que necesita estar a una temperatura específica. Por lo general debe estar a una temperatura por debajo la del ambiente.

Para la realización de los cuartos fríos de refrigeración es necesario tener en consideración algunos parámetros para su diseño a continuación se enumeran las diferentes cargas térmicas que se requieren para el cálculo de los cuartos fríos:

- Cargas de transmisión de calor por productos.
- Pérdidas por transmisión de calor a través de (paredes, techo, piso, ventanas, puerta)
- Carga liberada por equipos eléctricos.
- Cargas de transferencia de calor por Renovaciones de Aire.
- Calor latente, cuando existe cambio de fase de vapor a líquido.
- Cargas por personas, de acuerdo a la actividad que realizan.
- Carga por radiación, se calcula solo cuando existen ventanas.
- Cargas Diversas. (ASHRAE, 2017)

4.3.2.1 Resistencia térmica

La resistencia térmica es la propiedad de los materiales para impedir el paso o flujo de calor, se denota con la letra R, si el valor de la resistencia sea mayor la transferencia de calor es mínimo, si la resistencia es menor la transferencia es mayor (Instituto Politécnico Nacional, 2016).

4.3.2.2 Resistencia térmica de la capa de aire superficial

Las transferencias de calor a través de los materiales de construcción también se ven afectados por la resistencia ya que la superficie solida se encuentra expuesta al aire circundante. En casos reales son las diferencias de temperatura tanto interna como externa del aire (Instituto Politécnico Nacional, 2016).

La norma ecuatoriana de la construcción tiene algunas exigencias prescriptivas que establecen requerimientos mínimos principalmente en los materiales o componentes de la envolvente para mejorar el comportamiento térmico y energético de las edificaciones lo cual se debe cumplir al momento de realizar los cálculos estos valores se encuentran en el **Anexo 13** (NEC, 2018).

4.4 Proceso de elaboración de la cerveza artesanal

La cerveza artesanal se caracteriza por no utilizar aditivos ni conservantes de ningún tipo, fuera de los ingredientes clásicos de elaboración (malta, cereales, lúpulo, levadura, agua, frutas y especias). Para la producción se utiliza materia prima de calidad, respetando los procesos naturales de elaboración. Generalmente se admite una diversa gama de sabores y estilos. (*Tecnologica Nacional*, 2005)

Germinación o malteado: Es el proceso a través del cual los granos desarrollan los enzimas necesarios para el posterior proceso de maceración. Para ello es necesario que los granos tengan un grado de humedad próximo al 45% lo cual se consigue sometiendo a las semillas a procesos de remojo; con agua a 16 °C. y a los procesos de drenado; en los cuales se deja el grano al aire, minimizando los posibles cambios bruscos de temperatura. Se Alterar la exposición del agua y el aire para evitar que los granos consuman todo el oxígeno del agua donde están en remojo con lo que se detendría el proceso de germinación, con lo cual no se formarían los enzimas (Gisbert, 2016).

Molienda: La finalidad de la molienda es la producción de partículas de pequeño tamaño que puedan ser rápidamente atacadas por los enzimas en la cuba de maceración. La molienda ideal podría resumirse como:

- Todos los granos deben quedar molidos.

- La mayoría de las cascarillas deben partirse de extremo a extremo.
- El endospermo (reservas de almidón) debe quedar libre de la cascarilla.
- El endospermo debe quedar homogeneizado en el tamaño.
- La harina deber ser minimizado la cantidad (<10 %)

Maceración: En la maceración, los cereales, se introducen en una cuba, a los cuales se les añade agua previamente acidificada hasta un pH de 5.5. La cantidad de agua se basa en una relación de tres litros de agua por kilo de cereales. Esta mezcla remueve hasta que se forma una pasta consistente (Gisbert, 2016).

Cocción: Se debe hervir aproximadamente 1 hora en ebullición, y adicionar el LÚPULO (0,5g/l; 0,7g/l; 0,9g/l de acuerdo a la concentración de cada tratamiento), el cual no sólo serviría para dar amargo, sabor y aroma a la cerveza, sino también lograr prolongar su vida útil una vez embotellada, evitando la proliferación de bacterias.

Se debe tener en cuenta durante el hervor la formación de espuma en el mosto la cual debe irse retirando constantemente, ya que contiene algunos aceites esenciales que pueden dar sabores extraños a la cerveza (Técnica et al., 2010).

Fermentación: En esta etapa, el mosto es inoculado con levaduras ale o lager, según sea el estilo buscado y luego se cierra para que se agote el oxígeno, Si las levaduras utilizadas son de fermentación alta, el mosto deberá ser inoculado cerca de 18 °C y el proceso fermentativo será de 7 a 10 días. Cuando las levaduras elegidas, son de fermentación baja (lager) la temperatura del mosto deberá estar entre 8 y 13 °C y el período de fermentación será de 14 a 21 días (Ferreira, 2014).

Maduración y acondicionamiento: Finalizada la fermentación se extraen los sedimentan de levaduras, luego se coloca el líquido resultante (cerveza verde) a temperaturas cercanas a 0 °C para que los sabores y aromas se armonicen y las levaduras junto a las proteínas (que se encuentran en suspensión) se ubiquen en el fondo del fermentador, facilitando su remoción. Esta cerveza verde contiene poco dióxido de carbono atrapado y su sabor y aroma son inferiores a los de la cerveza madurada (Ferreira, 2014).

4.4.1 Carga térmica de refrigeración.

“La carga térmica de refrigeración es la cantidad de calor sensible y latente que se debe retirada de un ambiente, para mantener en condiciones de temperatura y humedad relativa del ambiente, generalmente la carga térmica esta expresada en kcal/hr” (Huarisueca & Ramos, 2020, p. 22).

“Para poder analizar carga térmica, se tiene que ver la primera ley de la Termodinámica como se muestra en la **Ecuación (2)**”(Manchengo y Mera, 2020, p. 36).

$$Q = \dot{m}C_p(T_f - T_i) \quad (2)$$

Donde:

Q : Representa el calor sensible retirado del producto a refrigerar

\dot{m} : Flujo másico de agua que se está 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

4.4.2 Transmisión de calor por conducción.

La transmisión a través de las paredes es por medio de la conducción desde el espacio refrigerado del exterior hacia el interior, debido a que hay diferencias de temperaturas siempre estará pasando calor del exterior al interior ya que no existe o se dispone de un aislamiento perfecto (DOSSAT, 2001).

“Este primer cálculo corresponde a la cantidad de calor transmitida por conducción a través de paredes, piso, techo y puerta ” (**Huarisueca y Ramos, 2020, p. 24**). La misma que viene representado por la **Ecuación (3)**, también se puede calcular con la **Ecuación 4** mediante el cálculo de la resistencia térmica, y la carga de transferencia de calor quedaría de acuerdo como la **Ecuación 5** como se indica a continuación.

$$Q_1 = A * U * \Delta T \quad (3)$$

$$R_T = \frac{1}{h_1 A} + \frac{x_1}{k_1 A} + \frac{x_2}{k_2 A} + \frac{1}{h_2 A} \left(\frac{h^\circ C}{kcal} \right) \quad (4)$$

$$Q_1 = \frac{\Delta T}{R_T} * \left(\frac{kcal}{h} \right) \quad (5)$$

Donde:

Q_1 : Calor $\left(\frac{kcal}{h} \right)$

A : Área de la pared en m^2

U : Coeficiente global de transmisión de calor en $\frac{kcal}{hrm^2^\circ C}$

ΔT : Diferencia de temperatura exterior menos la interior en $^\circ C$

R_T : Resistencia térmica ($\frac{h^\circ C}{kcal}$)

x : espesor del material (m)

4.4.3 *Perdidas de calor por radiación*

La pérdida de calor por radiación solo ocurre donde exista ventanas que tengan vidrio, la energía radiante del sol pasa a través de materiales transparentes como el vidrio y se transforma en ganancia de calor al recinto. Esto varía de acuerdo a la hora ya que la orientación del sol varía en el transcurso del día. La ganancia neta de calor se puede calcular mediante la **Ecuación 6**.(ASHRAE, 2017)

$$q_{rad} = (FGCS * AxCS * FCE) \quad (6)$$

Donde

q_{rad} : Perdida por radiación

$FGCS$: Factor de ganancia máxima de calor solar $\frac{BTU}{hft^2}$ ver la **Anexo 7**.

A : Área en ft^2

CS : Coeficiente de sombreado (adimensional) ver la tabla del **Anexo 8**.

FCE : factor de carga de enfriamiento para el vidrio (adimensional) ver tabla del **Anexo 9**.

4.4.4 *Cargas transmisión de calor por Producto*

Existen tres condiciones para el cálculo de la carga por producto

- “Es la eliminación del calor en enfriamiento desde la temperatura inicial hasta un punto de congelación del producto de acuerdo a la **Ecuación 7**” (ASHRAE, 2013).

$$Q_1 = \frac{mc_{p_1}(t_1 - t_2)}{t} \quad (7)$$

- “Eliminar el calor hasta llegar al punto de congelación del producto según la **Ecuación 8**” (ASHRAE, 2017).

$$Q_2 = \dot{m}h_{if} \quad (8)$$

- Consiste en eliminar el calor en enfriamiento desde el punto de congelación a la temperatura final por debajo del punto de congelación para realizar el este cálculo se debe utilizar la **Ecuación 9**.

$$Q_3 = \dot{m}c_{p_2}(t_f - t_2) \quad (9)$$

Donde

Q_1, Q_2, Q_3 : Eliminación del calor, Btu (KJ)

\dot{m} : flujo másico en $\frac{lb}{h}$ ($\frac{kg}{s}$)

c_1 : calor específico del producto por encima de congelación, $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}\times^\circ\text{F}}$ ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg}\times^\circ\text{C}}$)

t_1 : Temperatura inicial del producto por encima de congelación, $^\circ\text{F}$ ($^\circ\text{C}$)

t_2 : Temperatura inferior del producto por encima de congelación, $^\circ\text{F}$ ($^\circ\text{C}$)

t_f : Temperatura de congelación del producto, $^\circ\text{F}$ ($^\circ\text{C}$)

h_{if} : Calor latente de fusión del producto, $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$ ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg}}$)

c_2 : Calor específico del producto debajo de congelación, $\frac{\text{Btu}}{\text{lb}\times^\circ\text{F}}$ ($\frac{\text{KJ}}{\text{kg}\times\text{K}}$)

t_2 : Temperatura final del producto debajo de congelación, $^\circ\text{F}$ ($^\circ\text{C}$)

Para calcular la capacidad de los sistemas de refrigeración para productos traídos a espacios refrigerados se determina de acuerdo al tiempo asignado para eliminación de calor y se asume que los productos están adecuadamente expuestos para la eliminación del calor. El cálculo se realiza con la **Ecuación 10**:

$$\dot{q} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{n} \quad (10)$$

Donde

\dot{q} : carga de enfriamiento del producto, $\frac{\text{Btu}}{\text{h}}$ (kW)

n : período de tiempo asignado, h

4.4.5 Carga liberada por luminarias y máquinas eléctricas

Los equipos artefactos eléctrico que se encuentran en el interior de las cámaras frigoríficas desprenden calor, para que la temperatura se mantenga constante en el sistema de refrigeración esa misma cantidad de energía debe ser extraído el sistema (Velazques, 2022).

Calor cedido por luminarias

Las luminarias tienen potencia y al estar en funcionamiento se transforma en calor, para el diseño de un sistema de refrigeración se debe tener en consideración de ese calor (Velazques, 2022).

La tasa instantánea de la ganancia de calor de las luminarias se calcula con la **Ecuación 11 y 12** (ASHRAE, 2017).

$$Q_{lum} = nPF_{ul}F_{sa} \text{ (kW)} \quad (11)$$

$$\dot{q}_{el} = WF_{ul}F_{sa} \text{ (kW)} \quad (12)$$

Donde

Q : ganancia neta de calor debida al alumbrado, $\frac{\text{Btu}}{\text{h}}$ (kW)

n : Número de lámparas

\dot{W} : Total potencia de las luces instalada en Watts

F_{ul} : Factor de uso de iluminación (proporción en uso)

F_{sa} : Factor de tolerancia especial de iluminación

El factor de uso de iluminación: Es la relación de la potencia en uso, bajo las condiciones las cuales es estimado de la carga está haciendo, la potencia total instalado. En tiendas o aplicaciones comerciales, generalmente el uso del factor es de 1.0

El factor de tolerancia especial: Es la relación que existe del consumo de potencia de los artefactos de iluminación, incluyendo lámparas y balastos, la potencia nominal del consumo de las lámparas. Para luces incandescentes, este factor es 1.(ASHRAE, 2013)

4.4.5.1 Calor cedido por motores

“La cantidad de calor que disipa un motor eléctrico se considera que es el 20% de su potencia, esta cantidad de calor puede calcular utilizando la **Ecuación (13) y 14**”.(ASHRAE, 2013)

$$Q_{mot} = 2545 \frac{P}{E_M} F_{UM} F_{LM} \left(\frac{\text{Btu}}{\text{h}} \right) \quad (13)$$

$$\dot{q}_{em} = P * F_{UM} * F_{LM} \quad (\text{kW}) \quad (14)$$

Donde

\dot{q}_{em} : Calor equivalente de la operación del equipo, $\frac{\text{Btu}}{\text{h}}$ (kW)

P : Potencia nominal del motor, hp (kW)

E_M : Rendimiento del motor, fracción decimal < 1.0

F_{UM} : factor de utilización del motor 1.0 o < 1.0 (proporción operacional)

F_{LM} : factor de carga del motor 1.0 o < 1.0

4.4.6 Cargas de transferencia de calor por Infiltración y ventilación

Este evento se presenta por la frecuencia de aperturas de las puertas para la entrada y salida de aire ya que la aireación de la cámara es necesaria, pero esto suele no ser suficiente y por eso se debería dotar a las cámaras de sistemas de ventilación forzada

complementarios, el número de renovaciones puede establecerse por hora o por día, puede ser calculado por la **Ecuación 15**.

$$Q_{ir} = \dot{V}_n \rho_{aire} C_{p,aire} (T_{mayor} - T_{menor}) \quad (15)$$

Donde

Q_{ir} : Calor por Infiltración y ventilación en (kW)

\dot{V}_n : Caudal volumétrico en $\frac{m^3}{h}$

ρ_{aire} : Densidad del aire en $\frac{kg}{m^3}$

$C_{p,aire}$: Calor específico del aire en $\frac{kcal}{kg^{\circ}C}$

Para encontrar los valores de renovaciones por día ver la **Tabla 1**, para los valores de densidad y el calor específico ver la Tabla

Tabla 1. Número medio de sustituciones de aire en 24 horas para recintos de almacenamiento debido a la apertura puertas o infiltraciones (por encima de 0°C).

Volumen de la habitación m^3	Sustituciones de aire en 24 horas	Volumen de la habitación m^3	Sustituciones de aire en 24 horas
5,7	44,0	169	6,5
8,5	34,5	226	5,5
11,3	29,5	283	4,9
14,1	26,0	424	3,9
16,9	23,0	566	3,5
22,6	20,0	707	3,0
28,3	17,5	850	2,7
42,4	14,0	1130	2,3
56,6	12,0	1410	2,0
85,0	9,5	2117	1,6
113,0	8,2	2830	1,4
141,0	7,2		

Fuente: (Stoecker, 2001)

Para infiltraciones en grietas de ventanas o puertas ver **Figura 7**.

Tipo de ventana: deslizante con marco de madera	Metros cúbicos por hora y por metro de grieta
Alrededor de la armadura en pared de albañilería, no calafateada	0,74
Alrededor de la armadura en pared de albañilería, calafateada.....	0,19
Alrededor de la armadura en construcción de armazón de madera....	0,56
Total por término medio para ventana, sin burletes, 1,5 mm de grieta y 1,2 mm de hueigo. Incluyendo fugas por la armadura.....	1,95
Con burlete.....	1,21
Total para ventana mal ajustada, sin burletes, 2,4 mm de grieta y 2,4 mm de hueigo. Incluyendo fugas por la armadura.....	6,41
Con burletes.....	1,76

Figura 7. Infiltración en grietas alrededor de ventas o puertas

Fuente:(Stoecker, 2001)

Para calcular el caudal volumétrico por infiltraciones se utiliza la **Ecuación (18)**, para el caudal volumétrico de la habitación la **Ecuación 17**.

$$\dot{V}_{in} = \dot{V}_h + \dot{V}_l \quad (16)$$

$$\dot{V}_{hab} = n * V \quad (17)$$

Donde

\dot{V}_h : Caudal volumétrico de la habitación en $\frac{m^3}{h}$

\dot{V}_l : Caudal volumétrico de infiltración en $\frac{m^3}{h}$

4.4.7 Cargas por personas

Esta carga se debe calcular de acuerdo a las actividades que va realizar la persona dentro del cuarto de refrigeración, para el cálculo se debe utilizar las **Ecuaciones 18 y 19**.

$$Q_s = \dot{q}_s n FCE \quad (18)$$

$$Q_l = \dot{q}_l n \quad (19)$$

Donde

Q_s, Q_l : Ganancias de calor sensible y latente, W

\dot{q}_s, \dot{q}_l : Ganancias de calor sensible y latente por persona, W ver **Figura 8**.

n : Número de personas

FCE : Factor de carga de enfriamiento para las personas, ver la tabla de la **Figura 3**.

Actividad	Aplicaciones típicas	Calor total por adulto masculino			calor total ajustado ^a			Calor sensible			Calor latente		
		Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h	Watts	Btuh	kcal/h
Sentado en reposo	Teatro, cine	115	400	100	100	350	90	60	210	55	40	140	30
Sentado, trabajo muy ligero, escritura	Oficinas, hoteles, apartamentos	140	480	120	120	420	105	65	230	55	55	190	50
Sentado, comiendo	Restaurante	150	520	130	170	580 ^c	145	75	255	60	95	325	80
Sentado, trabajo ligero, mecanografía	Oficinas, hoteles, apartamentos	185	640	160	150	510	130	75	255	60	75	255	65
Parado, trabajo ligero o camina despacio	Tiendas minoristas, bancos	235	800	200	185	640	160	90	315	80	95	325	80
Trabajo ligero de banco	Fábricas	255	880	220	230	780	195	100	345	90	130	435	110
Caminando 3 mph trabajo ligero													
Trabajo con máquinas pesadas	Fábricas	305	1040	260	305	1040	260	100	345	90	205	695	170
Boliche		350	1200	300	280	960	240	100	345	90	180	615	150
Baile moderado	Salón de baile	400	1360	340	375	1280	320	120	405	100	255	875	220
Trabajo pesado, trabajo con máquinas pesadas, levantar pesas	Fábricas	470	1600	400	470	1600	400	165	565	140	300	1035	260
Trabajo pesado, ejercicios atléticos	Gimnasios	585	2000	500	525	1800	450	185	635	160	340	1165	290

^a Nota: Los valores de la tabla se basan en una temperatura de bulbo seco de 78°F. Para 80°F BS, el calor total queda igual, pero el valor del calor sensible se debe disminuir en aproximadamente 8% y los valores del calor latente se deben aumentar proporcionalmente.

^b La ganancia total ajustada de calor se basa en el porcentaje normal de hombres, mujeres y niños en la aplicación que se menciona, bajo la hipótesis de que la ganancia por mujer adulta representa un 85% de la del hombre adulto, y la de un niño el 75%.

^c Calor total ajustado para comer en un restaurant, que incluye 60 BTU/h del alimento por individuo (30 BTU sensibles y 30 BTU latentes).

^d Para el boliche, se considera una persona por pista tirando y las demás sentadas (400 BTU/h) o paradas y caminando lentamente (970 BTU/h).
Reproducido con permiso del 1985 Fundamentals. ASHRAE Handbook & Product Directory.

Figura 8. Tasas de ganancia de calor debida a los ocupantes del recinto acondicionado

Fuente: (ASHRAE, 2017)

Tabla 2. Factores de calor sensible para cargas de enfriamiento debido a personas

Horas totales en el recinto	Horas después de cada entrada al recinto																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
2	0.49	0.58	0.17	0.13	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
4	0.49	0.59	0.66	0.71	0.27	0.21	0.16	0.14	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
6	0.50	0.60	0.67	0.72	0.76	0.79	0.34	0.26	0.21	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03
8	0.51	0.61	0.67	0.72	0.76	0.80	0.82	0.84	0.38	0.30	0.25	0.21	0.18	0.15	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
10	0.53	0.62	0.69	0.74	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.42	0.34	0.28	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06
12	0.55	0.64	0.70	0.75	0.79	0.81	0.84	0.86	0.88	0.89	0.91	0.92	0.45	0.36	0.30	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.08
14	0.58	0.66	0.72	0.77	0.80	0.83	0.85	0.87	0.89	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.47	0.38	0.31	0.26	0.23	0.20	0.17	0.15	0.13	0.11	0.11
16	0.62	0.70	0.75	0.79	0.82	0.85	0.87	0.88	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.95	0.96	0.49	0.39	0.33	0.28	0.24	0.20	0.18	0.16	0.16
18	0.66	0.74	0.79	0.82	0.85	0.87	0.89	0.90	0.92	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.97	0.97	0.97	0.97	0.50	0.40	0.33	0.28	0.24	0.21

Reproducido con permiso de 1985 Fundamentals ASHRAE Handbook & Product Directory.

Fuente: (ASHRAE, 2017)

4.4.8 Calor latente

La importancia de la humedad relativa en los cuartos de refrigeración dependerá del producto que se estará enfriando y este está o no empacado. La humedad relativa no es importante cuando el producto almacenado está empacado a prueba de vapor, pero durante la carga en el estado inicial de enfriamiento la humedad de enfriamiento deberá ser alto si los envases con tienen humedad, esta disminuirá con rapidez una vez que la humedad libre se haya evaporado.(DOSSAT, 2001)

Para calcular el calor latente se utilizará la **Ecuación 20**

$$Q_l = 590\dot{V}_t \rho_{aire} (W_0 - W_i) \quad (20)$$

Donde

Q_l : calor latente en kW

\dot{V}_t : flujo volumétrico total en $\frac{m^3}{h}$

ρ_{aire} : densidad de aire $\frac{kg}{m^3}$

W_0 : Humedad absoluta externa en $\frac{g_{agua}}{g_{aire}}$

W_i : Humedad absoluta interna en $\frac{g_{agua}}{g_{aire}}$

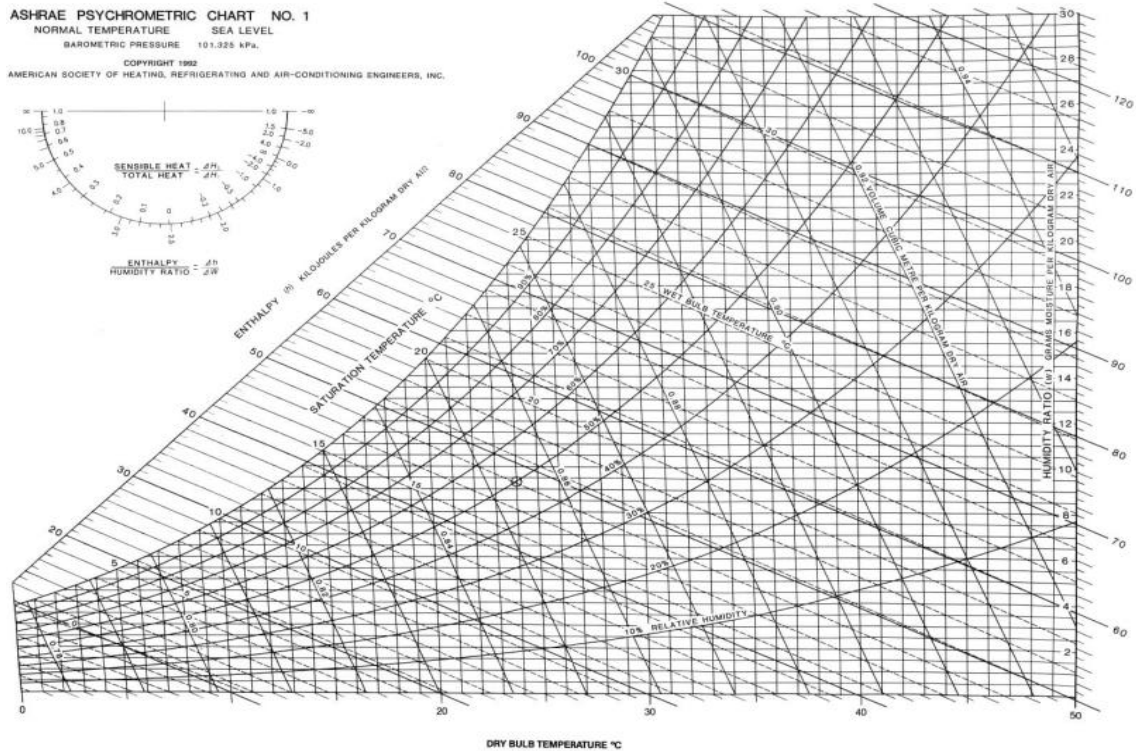


Figura 9. Diagrama Psicrométrico

Fuente: (ASHRAE, 2013)

4.4.9 Carga total de refrigeración requerida

La carga total de refrigeración no proviene de una sola fuente, por lo que es necesario tener un factor de seguridad de un 10% para evitar diversos factores los mismo que pueden requerir una mayor carga de refrigeración.(DOSSAT, 2001) ver las Ecuaciones 21 y 22

$$Q_{req} = Q_{cod} + Q_{rad} + Q_{prod} + Q_{ilum} + Q_{mot} + Q_{personas} + Q_{inf} \quad (21)$$

$$Q_{reqf} = Q_{req} * 1.10 \quad (22)$$

Donde

Q_{req} : Carga requerida en sistema

Q_{cod} : Cargas por conducción

Q_{rad} : Cargas por radiación

Q_{prod} : Cargas por producto

Q_{ilum} : Cargas por iluminación

Q_{mot} : Cargas por motores

$Q_{personas}$: Cargas por personas

Q_{inf} : Cargas por infiltraciones

Q_{reqf} : Carga de refrigeración corregida por factor de seguridad

4.4.10 Capacidad de refrigeración

La carga requerida por lo general está calculada para un periodo de 24 horas, para calcular la capacidad de refrigeración se divide la carga total requerida por un periodo de 24 horas por el periodo de funcionamiento del equipo. Es conveniente que el equipo no tenga un funcionamiento continuo, ya que necesita un tiempo para deshelar el evaporador esta carga viene dado por la **Ecuación 23**.(DOSSAT, 2001)

$$cap_{ref} = \frac{\dot{Q}_{requerida}}{periodo_{funcionamiento}} \quad (23)$$

Donde

$\dot{Q}_{requerida}$: Carga requerida por un periodo de 24 horas

$periodo_{funcionamiento}$: Tiempo de funcionamiento en horas

4.4.11 Efecto refrigerante

$$ER = h_1 - h_4 \quad (24)$$

Donde

ER : Efecto refrigerante

h_1 : Entalpía la salida del evaporador

h_4 : Entalpia a la entrada del evaporador

4.4.12 Flujo másico

$$\dot{m} = \frac{cap_{ref}}{ER} \quad (25)$$

Donde

\dot{m} : Flujo másico

cap_{ref} : Capacidad de refrigeración

er : Efecto refrigerante

4.4.13 Potencia del compresor

$$N = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (26)$$

Donde

N : Potencia del compresor

$(h_2 - h_1)$: Diferencia de entalpías en la salida y la entrada del compresor

4.4.14 Período de Recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión (PRI) es un indicador financiero que nos indica el número de años o periodos que se requieren para recuperar el capital invertido en un proyecto. Mediante este indicador se puede determinar si una inversión es rentable. El PRI se calcula de la siguiente manera como se indica en la Ecuación 27.(Bravo Orellana Sergio, 2016)

$$PRI = \frac{\textit{inversión inicial}}{\textit{ganacias promedio de los periodos}} \quad (27)$$

Donde

PRI : Periodo de recuperación de la inversión

inversión inicial: Costo del proyecto al inicio en dólares

flujo de caja anual: Flujo de dinero

Esto permite tomar decisiones informadas a los inversores y a evaluar la oportunidad de realizar una inversión determinada tomando en cuenta un PRI más bajo.

Se considera como el número de periodos de tiempo que se requiere para recuperar la inversión inicial (el costo del activo), es decir los periodos que deben transcurrir para con la acumulación de flujos de efectivo sea igual a la inversión inicial.(Echeverria, 2015)

5 Metodología

5.1 Área de trabajo

Saraguro es un cantón que pertenece a la provincia de Loja, su ubicación es de aproximadamente de unos 2400 metros sobre el nivel del mar. Se caracteriza tener un clima frío, donde la lluvia y la neblina cobijan a las rocosas y enormes montañas que forman el majestuosos paisaje. (Quezada, 2018).

Las Lagunas se localiza al Sur del cantón Saraguro, a una distancia de 2 km desde el centro de la ciudad, utilizando transporte a unos 8 minutos desde Saraguro (o 25 minutos a pie). La Lagunas se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2.600 m y cuenta con un clima muy variado, con una temperatura de 14 a 21 °C como se puede observar en la **Figura 9**.

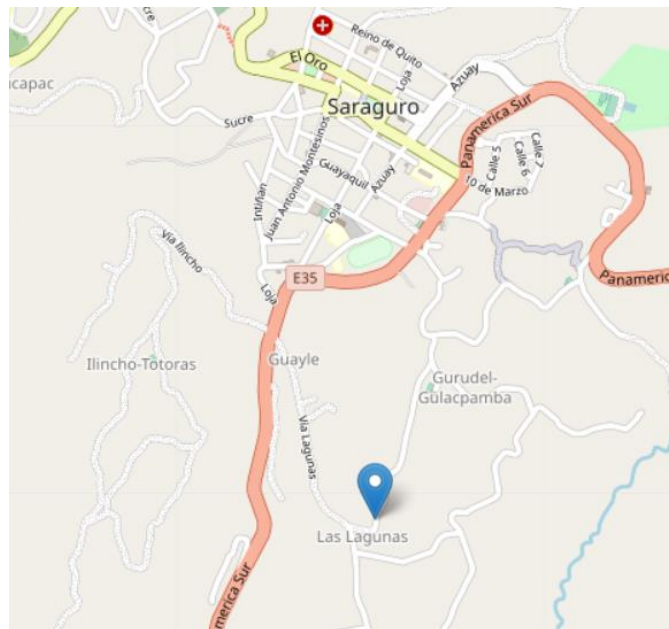


Figura 10. Mapa del cantón Saraguro.

Fuente. Google Maps.

5.2 Materiales y Equipos

Para el desarrollo del siguiente proyecto de investigación se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Cámara
- Cuaderno
- Computadora
- Flexómetro

- Esferos
- Calculadora

Recursos humanos:

- Tutor del proyecto de tesis
- Autor del proyecto de tesis

Recursos bibliográficos:

- Libros de transferencia de calor.
- Libro de climatización y refrigeración.
- Manuales de buenas prácticas de refrigeración.
- Norma ASHRAE

5.3 Métodos

El diseño de la investigación es aplicado. Se utilizará información y técnicas tecnológicas de la climatización y refrigeración.

El tipo de investigación a realizar es cuantitativo, porque es necesario la recolección de datos por medio del investigador, ya que estos datos se pueden cuantificar de una manera estadística, computacional o matemática.

cuantitativos y cualitativos. Mediante la toma de información de los componentes y accesorios que cuenta la planta de producción de cerveza artesanal.

El tipo de investigación a realizar es cuantitativo, porque es necesario la recolección de datos por medio del investigador, ya que estos datos se pueden cuantificar de una manera estadística, computacional o matemática.

5.4 Procedimientos

Procedimiento del primer objetivo

Para el correcto diseño del cuarto frío de refrigeración para la planta de producción, se estructuró y acogió a la siguiente metodología.

1. Revisión de material bibliográfico.

Se efectuará una exploración de la bibliografía, así se podrá tener una visión más clara del tema, esto se hará en libros, documentos relacionados con el diseño de cuartos fríos de refrigeración, los documentos seleccionados serán aquellos que contengan información de aporte al desarrollo del proyecto tesis.

2. Compilación y tabulación de la información para el desarrollo del proyecto.

Para tener una base sólida y científica procedemos a seleccionar, resumir y tabular toda la información bibliográfica con la finalidad de conceptualizar y orientar a una idea más concreta sobre el proyecto de investigación.

3. Cálculo de las cargas para la selección del equipo y los accesorios a utilizar.

Se debe calcular la potencia calorífica de refrigeración que se requiere para el cuarto frío, con base a esto se debe seleccionar el equipo y los accesorios que lo

El trabajo de investigación propuesto se corresponde con una investigación aplicada ya que se busca implementar los conocimientos adquiridos de la investigación teórica o básica.

Se realiza la visita a la planta de producción de cerveza artesanal para observar los distintos elementos y dispositivos que se requieren para la producción hasta lograr obtener el producto final.

Con la ayuda de una cámara se puede tomar fotos del lugar

Procedimiento del segundo objetivo

Para el correcto diseño del cuarto frío de refrigeración para la planta de producción, se estructuró y acogió a la siguiente metodología.

1. Revisión de material bibliográfico.

Se efectuará una exploración de la bibliografía, así se podrá tener una visión más clara del tema, esto se hará en libros, documentos relacionados con el diseño de cuartos fríos de refrigeración, los documentos seleccionados serán aquellos que contengan información de aporte al desarrollo del proyecto tesis.

2. Compilación y tabulación de la información para el desarrollo del proyecto.

Para tener una base sólida y científica procedemos a seleccionar, resumir y tabular toda la información bibliográfica con la finalidad de conceptualizar y orientar a una idea más concreta sobre el proyecto de investigación.

3. Cálculo de las cargas para la selección del equipo y los accesorios a utilizar.

Se debe calcular la potencia calorífica de refrigeración que se requiere para el cuarto frío, con base a esto se debe seleccionar el equipo y los accesorios que lo

Se procedió a realizar una la tabulación de los elementos, como está constituido la estructura de la construcción del cuarto a enfriar para proceder a los cálculos de las cargas de refrigeración.

Procedimiento del tercer objetivo

Para el correcto diseño del cuarto frío de refrigeración para la planta de producción, se estructuró y acogió a la siguiente metodología.

1. Revisión de material bibliográfico.

Se efectuará una exploración de la bibliografía, así se podrá tener una visión más clara del tema, esto se hará en libros, documentos relacionados con el diseño de cuartos fríos de refrigeración, los documentos seleccionados serán aquellos que contengan información de aporte al desarrollo del proyecto tesis.

2. Compilación y tabulación de la información para el desarrollo del proyecto.

Para tener una base sólida y científica procedemos a seleccionar, resumir y tabular toda la información bibliográfica con la finalidad de conceptualizar y orientar a una idea más concreta sobre el proyecto de investigación.

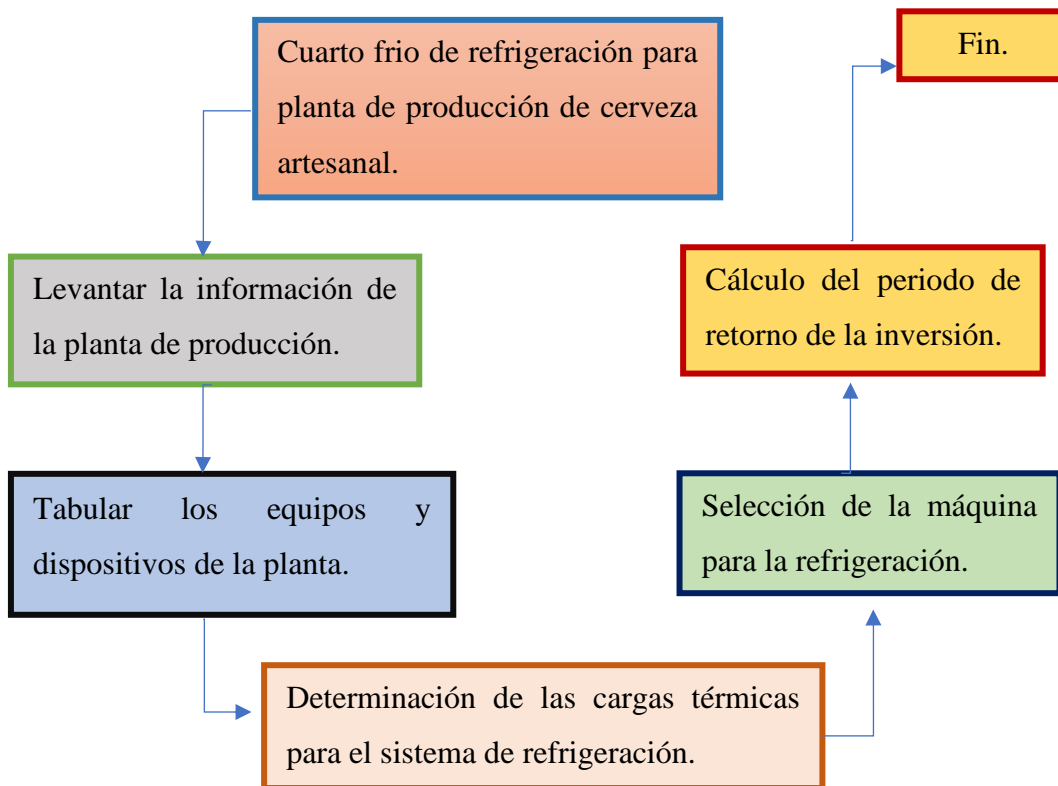
3. Cálculo de las cargas para la selección del equipo y los accesorios a utilizar.

Se debe calcular la potencia calorífica de refrigeración que se requiere para el cuarto frío, con base a esto se debe seleccionar el equipo y los accesorios que lo

Una vez calculada la potencia frigorífica investigar los costos de los materiales y del equipo de refrigeración en el mercado que se requiere para el cuarto frío.

5.5 Flujo Grama de trabajo

Diagrama de flujo para el diseño del cuarto frio



Refrigeración industrial

El presente trabajo de investigación se basa en la refrigeración industrial puesto que existen aplicaciones típicas como son plantas de hielo, empacadoras de alimentos (carne, pescado, pollos alimentos congelados, etc). Lecherías, cervecerías, refinerías de petróleo plantas químicas.(DOSSAT, 2001)

Por esta razón se eligió este tipo de refrigeración ya que involucra la refrigeración de cerveza donde se tenga que almacenar en gran cantidad en forma industrial.

6 Resultados

6.1 Levantamiento de información

El levantamiento de la información del lugar de emplazamiento y las condiciones que requiere el cuero frio, es uno de los pasos más importantes en la presente investigación. Gracias a esta información obtenida se pudo hacer un enfoque más preciso de los cálculos que se realizó para el diseño del proyecto de investigación.

La planta de producción se encuentra ubicado en el barrio Las Lagunas perteneciente al cantón Saraguro, a una distancia de 2 km del centro urbano cuenta con una temperatura ambiente variable, la máxima que llega es de 21°C, en la siguiente **Figura 11** podemos ver el lugar de emplazamiento.



Figura 11. Comunidad de las Lagunas

Con la visita a la planta de producción de cerveza artesanal se pudo evidenciar la información necesaria y las características de la construcción del cuarto, las mismas que se requieren para el cálculo del diseño del cuarto frio de refrigeración como se observa en la **Figura 12**.



Figura 12. Imagen de la planta de producción de cerveza artesanal por la parte interna

Diseño del cuarto frio

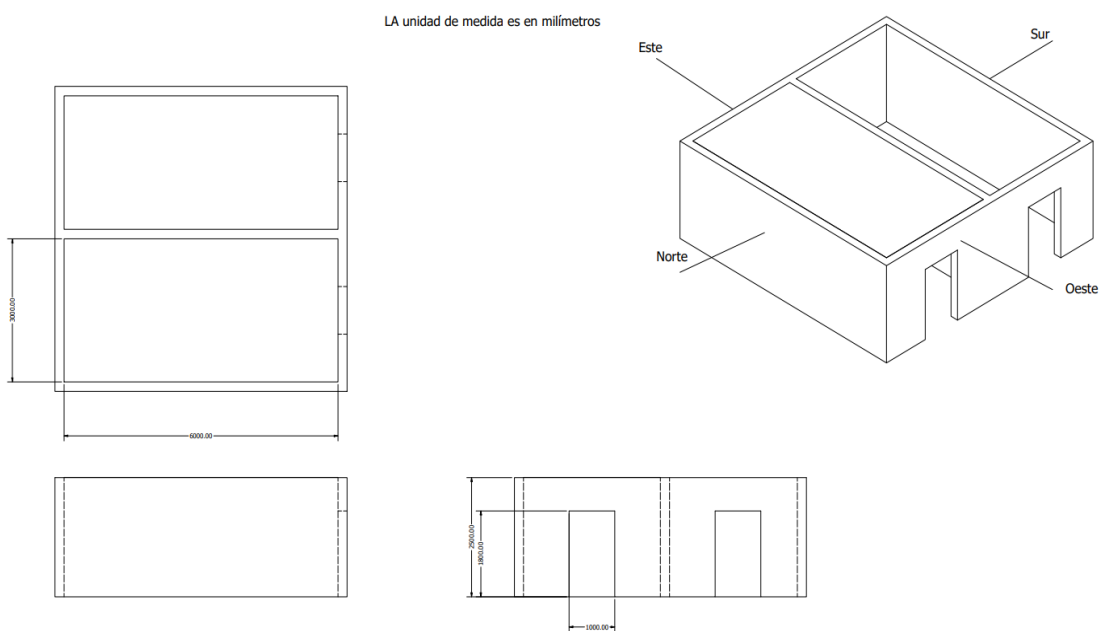


Figura 13. Ubicación del cuarto frio según los puntos cardinales.

Procesamiento del primer objetivo

Al visitar planta de producción de cerveza artesanal en la comunidad de Las Lagunas se obtuvo información mediante fotografías y la toma de otros datos como son el material de construcción y las dimensiones que tiene el cuarto donde está instalada la planta de producción, la temperatura ambiente del lugar, temperatura deseada del cuarto por el productor de cerveza.

Una vez levantada la información de la planta de producción de cerveza artesanal, los elementos y dispositivos fueron tabulados, donde tenemos las características y funcione que desempeña cada uno como se presentan a continuación en la siguiente **Tabla 3**.

Tabla 3. Características la planta de producción de cerveza artesanal

Nombre	Característica
Las Lagunas	Temperatura 25°C
Construcción paredes	Barro o arcilla 3x6x2,5m, espesor 0,2 m
Puerta	Maderas 1x1,80 m, espesor 0,03 m
Revestimiento de las paredes	Yeso con un espesor de 0,002 m
Construcción piso	Hormigón espesor 0,2 m
Techo	Tumbado de plywood 3x6 m espesor 0,003 m
Cerveza	120 lt
1 motores	1 hp
2 luminarias	Watts 15
Personas	Van trabajar 2
Ambiente interno deseado	Temperatura 3°C

Autor.

Procesamiento del segundo objetivo

De acuerdo a la información que se obtuvo se procede a la tabulación de los equipos y dispositivos posteriormente se procedes a realizar los cálculos de las cargas de calor.

6.1.1 Requerimientos de la planta de producción

El volumen del cuarto de la planta de cerveza es de $45m^3$

Los materiales y equipos que se necesita para el cuarto frio deben existir en el mercado nacional y el costo debe ser moderado.

En el diseño del cuarto frio para la cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro barrio Las Lagunas se requiere un ambiente que este a una temperatura interna de 3 °C a

continuación en la **Figura 14**, se indica la temperatura en el lugar de emplazamiento del proyecto donde elegimos la temperatura promedio más alta para realizar los cálculos.

El clima en Saraguro, Ecuador

Mes	°C Temperatura máxima media	°C Temperatura mínima media	Precipitación
Enero	19 °C	8 °C	85 mm
Febrero	19 °C	8 °C	100 mm
Marzo	19 °C	8 °C	120 mm
Abril	19 °C	8 °C	110 mm
Mayo	19 °C	8 °C	75 mm
Junio	18 °C	8 °C	70 mm
Julio	19 °C	6 °C	55 mm
Agosto	19 °C	6 °C	55 mm
Septiembre	20 °C	7 °C	60 mm
Octubre	20 °C	7 °C	70 mm
Noviembre	20 °C	7 °C	60 mm
Diciembre	21 °C	7 °C	75 mm

Figura 14. Temperatura promedio de la ciudad de Saraguro.

Una vez obtenida la tabulación de los elementos y los parámetros de construcción donde se va realizar el diseño del cuarto frío, procedemos a realizar los cálculos de transferencia de calor que se requieren para el diseño.

6.1.2 *Requerimiento básico del cuarto frío de refrigeración*

- Debe tener un flujo de voltaje constante para alimentar a los componentes de las del cuarto frío de refrigeración.
- En los sistemas de refrigeración o enfriamiento se debe tener en consideración un tiempo de funcionamiento de 10 horas repartidas en las 24 horas del día. Esto debido a que el evaporador debe realizar el deshielo para lograr tener un ambiente a la temperatura de acuerdo al requerimiento.
- Para el diseño de los cuartos fríos se debe tener en cuenta que los equipos que se van a utilizar sean amigables con ambiente.
- El mantenimiento y limpieza se debe realizar en forma periódica.

6.1.3 *Cálculo de las cargas de refrigeración*

6.1.3.1 *Carga de transferencia de calor por conducción a través de paredes, piso, puerta y techo*

“Para el cálculo de transferencia de calor sobre una pared plana sujeta a la convección sobre ambos lados se lo puede realizar como red de resistencias térmicas, y con la analogía eléctrica como se muestra en la siguiente **Figura 15**”(Cengel Yanus A. & Afshin, n.d.).

Para la realizar estos cálculos se tiene la **Tabla 4** donde podemos observar las dimensiones de las paredes, de la puerta, del techo y el piso.

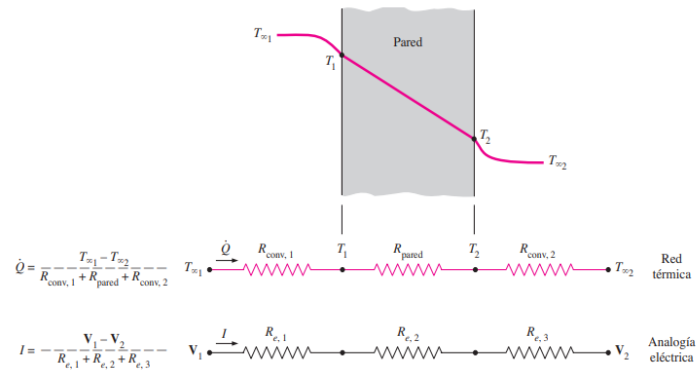


Figura 15. Red de resistencias térmicas y la analogía eléctrica.

Fuente: (Cengel Yanus A. & Afshin, n.d.)

Tabla 4. Datos de las dimensiones de la planta de producción

Para el área de las paredes			Para el área de la puerta			Para el área de piso y techo		
Largo (m)	Alto (m)	Área (m^2)	Ancho (m)	Alto (m)	Área (m^2)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
6	2,5	15	1	1,8	1,8	6	3	18
3	2,5	7,5				6	3	18
6	2,5	15						
3	2,5	5,7	Perímetro	5,6				
Área pared aire en movimiento		26,4						
Área pared aire en reposo		15						
Volumen del cuarto m^3		45						

En la **Tabla 5** se presenta los valores de las conductividades térmicas para los diversos materiales por los que está constituido la construcción del cuarto frío.

Valores seleccionados para la conductividad térmica, la temperatura y los coeficientes superficiales de transmisión de calor de acuerdo a la construcción del cuarto todos estos valores son tomados de los Anexos 1,2,3 y 4

Material	Conductividad térmica k		Temperaturas		valores de h_1 y h_2 para las paredes		
	espesor (m)	K (kcal/hm ² °C)	K (w/m ² °C)	Tem.interior (°C)	Tem.exterior (°C)	h_1 (kcal/hm ² °C)	h_2 (kcal/hm ² °C)
Revestimiento Enlucido de yeso	0,002	0,26	0,3	3	21	Para aire en movimiento	
Pared Arcilla expandida	0,2	0,098	0,114			7	20
Piso Hormigón	0,2	0,08	1,63			Para aire en reposo	
Puerta Madera	0,03	0,18	0,21			7	7
Techo Madera	0,003	0,18	0,21			Para el suelo	
Fibra de vidrio	0,15	0,032	0,037			5	

Cálculos de pérdidas de calor por conducción en las paredes con aire en movimiento

Los materiales de construcción que conforman las paredes se puede observar en la **Figura 16**, esto se debe conocer para los cálculos de las pérdidas por conducción.

Materiales de construcción de las paredes y el aislante

yeso	Arcilla	yeso	Fibra de vidrio tipo II
------	---------	------	-------------------------

Figura 16. Características de los materiales que forman las paredes.

Para realizar los cálculos de la transferencia de calor debemos conocer las áreas de las paredes tanto de los que están expuestos al aire en movimiento con los que están continuas a otras habitaciones, en la **Tabla 4** se puede encontrar las dimensiones y las áreas de cada una de las paredes, en la **Tabla 5** se encuentran los espesores que de cada material de los cuales conforman las paredes, la conductividad de cada material y los coeficientes de transferencia de calor. Con la ayuda de la **Ecuación 3 y 4** se procede a realizar los cálculos de cargas de calor por conducción. Para la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) se utiliza los requisitos de envolvente térmica para la zona climática 4 ya que Loja pertenece a esta zona, se elige habitable porque van estar personas trabajando, no climatizado para abaratar costos de diseño por lo tanto estos valores se pueden observar en la siguiente **Figura 17**.

Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No climatizado		Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento
	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento		
Techos	U-0.273	R-3.5	U-2.9	R-0.89	U-4.7	R-0.21
Paredes, sobre nivel del terreno	U-0.513	R-2.0	U-2.35	R-0.4	U-5.46	NA
Paredes, bajo nivel de terreno	C-0.678	R-1.3	C-6.473	NA	C-6.473	NA
Pisos	U-0.420	R-1.8	U-3.2	R-0.31	U-3.4	NA
Puertas opacas	U-2.839	NA	U-2.6	R-0.4	U-3.124	NA
Ventanas	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC	Transmitancia máxima	Montaje máximo SHGC
Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$	U-2.27	SHGC-0.40	U-5.78	SHGC-0.82	U-6.81	NA
Área translúcida horizontal $< 45^\circ$	U-5.56	SHGC-0.36	U-6.64	SHGC-0.36	U-11.24	NA

Figura 17. Requisitos de envolvente para la zona climática 4.

Fuente. (NEC, 2018)

Cálculos de pérdidas de calor por conducción en la pared Norte

Datos

$$A = 15 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{externa}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{interna}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{\left(7 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{ }^\circ\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_2 = 2 \frac{x_{\text{entucido}}}{k_{\text{yeso}}} \text{ como la pared está revestido por los dos lados tenemos que}$$

$$R_2 = 2 \frac{x_{\text{yeso}}}{k_{\text{yeso}}}$$

$$R_2 = 2 \left(\frac{0,002 \text{ m}}{0,30 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \right) = 0,013 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_3 = \frac{x_{\text{pared}}}{k_{\text{arcilla}}}$$

$$R_3 = \left(\frac{0,2 \text{ m}}{0,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}} \right) = 0,22 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_4 = \frac{x_{F. \text{ vidrio}}}{k_{F. \text{ vidrio}}}$$

$$R_4 = \left(\frac{0,05m}{0,037 \frac{W}{m^2C}} \right) = 1,351 \frac{m^2C}{W}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_2} = \frac{1}{\left(20 \frac{kcal}{hm^2C}\right) \left(\frac{4,18 kJ}{1 kcal}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)} = 0,043 \frac{m^2C}{W}$$

$$R_{t1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{t1} = 0,123 \frac{m^2C}{W} + 0,013 \frac{m^2C}{W} + 0,22 \frac{m^2C}{W} + 1,351 \frac{m^2C}{W} + 0,043 \frac{m^2C}{W}$$

$$R_{t1} = 1,75 \frac{m^2C}{W}$$

$$U_{norte} = \frac{1}{R_{t1}}$$

$$U_{norte} = \frac{1}{1,75 \frac{m^2C}{W}} = 0,571 \frac{W}{m^2C}$$

$$Q_{norte} = U_{norte} A_{norte} \Delta T$$

$$Q_{norte} = \left(0,571 \frac{W}{m^2C}\right) (15m^2) (21C - 3C)$$

$$Q_{norte} = 154,17 W$$

Cálculos de pérdidas de calor por conducción en la pared Sur

Datos

$$A = 15 m^2$$

$$T_{externa} = 21 C$$

$$T_{interna} = 3 C$$

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{\left(7 \frac{kcal}{hm^2C}\right) \left(\frac{4,18 kJ}{1 kcal}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)} = 0,123 \frac{m^2C}{W}$$

$$R_2 = \frac{x_{enlucido}}{k_{yeso} A} \text{ como la pared está revestido por los dos lados tenemos que}$$

$$R_2 = 2 \frac{x_{enlucido}}{k_{yeso} A}$$

$$R_2 = 2\left(\frac{0,002m}{0,30 \frac{W}{m^{\circ}C}}\right) = 0,013 \frac{m^2 \circ C}{W}$$

$$R_3 = \frac{x_{pared}}{k_{arcilla} A}$$

$$R_3 = \left(\frac{0,2m}{0,93 \frac{W}{m^{\circ}C}}\right) = 0,22 \frac{m^2 \circ C}{W}$$

$$R_4 = \frac{x_{F. vidrio}}{k_{F. vidrio}}$$

$$R_4 = \left(\frac{0,05m}{0,037 \frac{W}{m^{\circ}C}}\right) = 1,351 \frac{m^2 \circ C}{W}$$

$$R_5 = R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{\left(7 \frac{kcal}{hm^2 \circ C}\right) \left(\frac{4,18 kJ}{1 kcal}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)} = 0,123 \frac{m^2 \circ C}{W}$$

$$R_{t2} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{t2} = 0,123 \frac{m^2 \circ C}{W} + 0,013 \frac{m^2 \circ C}{W} + 0,22 \frac{m^2 \circ C}{W} + 1,351 \frac{m^2 \circ C}{W} + 0,123 \frac{m^2 \circ C}{W}$$

$$R_{t2} = 1,83 \frac{m^2 \circ C}{W}$$

$$U_{sur} = \frac{1}{R_{t1}}$$

$$U_{sur} = \frac{1}{1,83 \frac{m^2 \circ C}{W}} = 0,546 \frac{W}{m^2 \circ C}$$

$$Q_{sur} = U_{sur} A_{sur} \Delta T$$

$$Q_{sur} = \left(0,546 \frac{W}{m^2 \circ C}\right) (15m^2) (21^{\circ}C - 3^{\circ}C)$$

$$Q_{sur} = 147,42 W$$

Cálculos de pérdidas de calor por conducción en la pared Este

Datos

$$A = 7,5 m^2$$

$$T_{\text{externa}} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{interna}} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{\left(7 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$R_2 = 2 \frac{x_{\text{entucido}}}{k_{\text{yeso}}}$ como la pared está revestido por los dos lados tenemos que

$$R_2 = 2 \frac{x_{\text{yeso}}}{k_{\text{yeso}}}$$

$$R_2 = 2 \left(\frac{0,002 \text{ m}}{0,30 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} \right) = 0,013 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_3 = \frac{x_{\text{pared}}}{k_{\text{arcilla}}}$$

$$R_3 = \left(\frac{0,2 \text{ m}}{0,93 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} \right) = 0,22 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_4 = \frac{x_{F. \text{ vidrio}}}{k_{F. \text{ vidrio}}}$$

$$R_4 = \left(\frac{0,05 \text{ m}}{0,037 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} \right) = 1,351 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_2} = \frac{1}{\left(20 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,043 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{t1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{t1} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,013 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,22 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 1,351 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} + 0,043 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{t1} = 1,75 \frac{\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$$

$$U_{este} = \frac{1}{R_{t1}}$$

$$U_{este} = \frac{1}{1,75 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}} = 0,571 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$Q_{este} = U_1 A \Delta T$$

$$Q_{este} = (0,571 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C})(7,5 m^2)(21^\circ C - 3^\circ C)$$

$$Q_2 = 77,09 W$$

Cálculos de pérdidas de calor por conducción en la pared Oeste

Datos

$$A = 5,7 m^2$$

$$T_{externa} = 21^\circ C$$

$$T_{interna} = 3^\circ C$$

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{(7 \frac{kcal}{hm^2 \cdot ^\circ C})(\frac{4,18 kJ}{1 kcal})(\frac{1h}{3600s})} = 0,123 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$R_2 = 2 \frac{x_{enlucido}}{k_{yeso}}$ como la pared está revestido por los dos lados tenemos que

$$R_2 = 2 \frac{x_{yeso}}{k_{yeso}}$$

$$R_2 = 2 \left(\frac{0,002m}{0,30 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} \right) = 0,013 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_3 = \frac{x_{pared}}{k_{arcilla}}$$

$$R_3 = \left(\frac{0,2m}{0,93 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} \right) = 0,22 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_4 = \frac{x_{F. vidrio}}{k_{F. vidrio}}$$

$$R_4 = \left(\frac{0,05m}{0,037 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}} \right) = 1,351 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_2} = \frac{1}{\left(20 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{°C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,043 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

$$R_{t1} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{t1} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}} + 0,013 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}} + 0,22 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}} + 1,351 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}} + 0,043 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

$$R_{t1} = 1,75 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

$$U_{oeste} = \frac{1}{R_{t1}}$$

$$U_{oeste} = \frac{1}{1,75 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}} = 0,571 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

$$Q_{oeste} = U_{oeste} A_{oeste} \Delta T$$

$$Q_{oeste} = \left(0,571 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}\right) (5,7 \text{ m}^2) (21\text{°C} - 3\text{°C})$$

$$Q_{oeste} = 58,60 \text{ W}$$

El coeficiente global de transferencia a través de las paredes Norte, Sur, Este y Oeste es.

$$U_{paredes} = U_{norte} + U_{sur} + U_{este} + U_{oeste}$$

$$U_{paredes} = 0,571 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} + 0,546 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} + 0,571 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} + 0,571 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

$$U_{paredes} = 2,26 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

Así mismo la pérdida por conducción es la suma de las pérdidas a través de las paredes Norte, Sur, Este y Oeste como se indica a continuación.

$$Q_{paredes} = Q_{norte} + Q_{sur} + Q_{este} + Q_{oeste}$$

$$Q_{paredes} = 154,17 \text{ W} + 147,42 \text{ W} + 77,09 \text{ W} + 58,60 \text{ W}$$

$$Q_{paredes} = 437,26 \text{ W}$$

Cálculo de las pérdidas en la puerta

Datos

$$A = 1,8 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{externa}} = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{interna}} = 3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{\left(7 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{ }^\circ\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_2 = \frac{x_{\text{puerta}}}{k_{\text{madera}}} = \left(\frac{0,04 \text{ m}}{0,21 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}}\right) = 0,19 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_3 = \frac{1}{h_2} = \frac{1}{\left(20 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{ }^\circ\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,043 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{puerta}} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{\text{puerta}} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,19 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}} + 0,043 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{puerta}} = 0,356 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$U_{\text{puerta}} = \frac{1}{R_{\text{puerta}}}$$

$$U_{\text{puerta}} = \frac{1}{0,356 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}} = 2,805 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}$$

$$Q_{\text{puerta}} = U_{\text{puerta}} A_{\text{puerta}} \Delta T$$

$$Q_{\text{puerta}} = \left(2,805 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}\right) (1,8 \text{ m}^2) (21^\circ\text{C} - 3^\circ\text{C}) = 90,88 \text{ W}$$

Cálculo de las pérdidas en el piso

La construcción del piso es de hormigón con un espesor aproximado de 20 centímetros con estos datos se procede a realizar los cálculos de las pérdidas de transferencia de calor.

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{\left(5 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{ }^\circ\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,172 \frac{\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_2 = \frac{x_{piso}}{k_{hormigón\ cel\ sin\ aridos}} = \left(\frac{0.2m}{0,09 \frac{W}{m^{\circ}C}}\right) = 2,22 \frac{m^{\circ}C}{W}$$

$$R_3 \frac{1}{h_2} = \frac{1}{(14 \frac{kcal}{hm^{\circ}C}) \left(\frac{4,18 kJ}{1 kcal}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)} = 0,06 \frac{m^{\circ}C}{W}$$

$$R_{piso} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_{piso} = 2,45$$

$$U_{piso} = \frac{1}{2,45 \frac{m^{\circ}C}{W}} = 0,407 \frac{W}{m^{\circ}C}$$

$$Q_{piso} = U_{piso} A \Delta T$$

$$Q_{piso} = \left(0,407 \frac{W}{m^{\circ}C}\right) (18)(m^2) (21^{\circ}C - 3^{\circ}C)$$

$$Q_{piso} = 131,87 W$$

Cálculo de las pérdidas en el techo

El material del techo es de madera ya que está constituido por plywood cómo tumbado, para los valores de la conductividad térmica se puede observar en la **Tabla 4** y para los valores de los coeficientes de transferencia de calor h_1 y h_2 ver la **Tabla 5**. En la **Figura 18**, se indica los materiales del techo.

Materiales que conforman el techo

Madera
Fibra de vidrio tipo II
Madera

Figura 18. Materiales que forma el techo del cuarto frio.

$$R_1 = \frac{1}{h_1} = \frac{1}{(7 \frac{kcal}{hm^{\circ}C}) \left(\frac{4,18 kJ}{1 kcal}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)} = 0,123 \frac{m^{\circ}C}{W}$$

$$R_2 = \frac{x_{techo}}{k_{madera}} = \left(\frac{0.10m}{0,08 \frac{W}{m^{\circ}C}}\right) = 1,25 \frac{m^{\circ}C}{W}$$

$$R_3 = \frac{x_{F.vidrio}}{k_{F.vidrio}}$$

$$R_3 = \frac{0,04 \text{ m}}{0,037 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} = 1,08 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_4 = \frac{x_{techo}}{k_{madera}} = \left(\frac{0,10\text{m}}{0,08 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}} \right) = 1,25 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_5 = \frac{1}{h_2} = \frac{1}{\left(7 \frac{\text{kcal}}{\text{hm}^2\text{C}}\right) \left(\frac{4,18 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}}\right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}\right)} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{techo} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$R_{techo} = 0,123 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}} + 1,25 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}} + 1,08 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}} + 1,25 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}} + 0,123 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}$$

$$R_{techo} = 3,83 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}$$

$$U_{techo} = \frac{1}{3,83 \frac{\text{m}^2\text{C}}{\text{W}}} = 0,261 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}$$

Entonces la pérdida de calor se calcula como se indica a continuación.

Datos

$$A = 18 \text{ m}^2$$

$$T_{externa} = 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{interna} = 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q_{techo} = U_{techo} A \Delta T$$

$$Q_{techo} = \left(0,261 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{C}}\right) (18 \text{ m}^2) (21^{\circ}\text{C} - 3^{\circ}\text{C})$$

$$Q_{techo} = 84,56 \text{ W}$$

Por último, se debe sumar todas las cargas calculadas anteriormente

$$Q_{pared,puerta,piso,techo} = Q_{pared} + Q_{puerta} + Q_{piso} + Q_{techo}$$

$$Q_{pared,puerta,piso,techo} = 437,26 \text{ W} + 90,88 \text{ W} + 131,87 \text{ W} + 84,56 \text{ W}$$

$$Q_{pared,puerta,piso,techo} = 744,57 \text{ W}$$

6.1.3.2 Cargas por personas

De acuerdo con la información obtenida el número de personas que van estar en la planta de producción son dos, la actividad a realizar se indica en la **Figura 8** es de trabajo ligero o camina despacio para tomar los valores del calor sensible y el calor latente en la **Tabla 2** para el factor de carga para las personas.

Datos

$$n = 2$$

$$\dot{q}_s = 90 \text{ W}$$

$$\dot{q}_l = 95 \text{ W}$$

$$FCE = 0,72$$

Utilizando las **Ecuaciones 18 y 19** se procede a realizar los cálculos

$$Q_s = \dot{q}_s n FCE$$

$$Q_s = (90\text{W})(2)(0,72) = 129,6 \text{ W}$$

$$Q_l = \dot{q}_l n$$

$$Q_l = (95\text{W})(2) = 190 \text{ W}$$

$$Q_{personas} = Q_s + Q_l$$

$$Q_{personas} = 129,6 \text{ W} + 190 \text{ W}$$

$$Q_{personas} = 319,6 \text{ W}$$

6.1.3.3 Cargas por infiltraciones y ventilación

Para calcular las pérdidas por infiltración y ventilación debemos calcular el volumen del cuarto, con este volumen se debe observar la **Tabla 1** para ver las renovaciones por día o caudal volumétrico. Para la infiltración por grietas revisar la **Figura 7**

Con la ayuda de las **Ecuaciones 15,16 y17** se realiza los cálculos correspondientes.

Datos

$$V = (6)(3)(2,50) = 45 \text{ m}^3$$

$$P_{perimetro\ puerta} = 1 + 1,8 + 1 + 1,8 = 5.6 \text{ m}$$

$$\rho_{aire} = 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{p_{aire}} = 0,245 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$$

Según la **Tabla 4** hay volúmenes que van (42,4 y 56,6) m^3 y el volumen del cuarto es de 45 m^3 las renovaciones están entre (14 y 12) $\frac{ren}{día}$ por lo que se debe interpolar entre esos valores y queda de la siguiente forma.

$$n = \frac{(14 - 12)(45 - 42.4)}{42,4 - 56,6} + 14 = 13,63 \frac{ren}{día}$$

$$n = \left(13,63 \frac{ren}{día}\right) \left(\frac{1 día}{24 h}\right) (2h) = 1,136 \frac{ren}{h}$$

Entonces el caudal volumétrico de la habitación y la puerta sería de acuerdo con la **ecuación 15**

$$\dot{V}_{hab} = nV$$

$$\dot{V}_{hab} = \left(1,136 \frac{ren}{h}\right) (45m^3) = 51,12 \frac{m^3}{h} = 0,01 \frac{m^3}{s}$$

De acuerdo con la **figura 7**, para las infiltraciones por grietas se toma el valor que dice alrededor de la armadura en construcción de armazón de madera.

$$\dot{V}_i = (5,6m) \left(0,56 \frac{m^3}{hm_{grieta}}\right)$$

$$\dot{V}_i = 3,136 \frac{m^3}{h}$$

Entonces utilizando la **Ecuación 16**, el caudal volumétrico por infiltraciones y ventilación quedaría de la siguiente manera.

$$\dot{V}_{in} = \dot{V}_h + \dot{V}_i$$

$$\dot{V}_{in} = 51,12 \frac{m^3}{h} + 3,136 \frac{m^3}{h}$$

$$\dot{V}_{in} = 54,26 \frac{m^3}{h} = 0,015 \frac{m^3}{s}$$

Para encontrar el calor específico de aire a 3°C se debe interpolar de acuerdo a las temperaturas (0 y 5) °C tanto para el calor específico como para la densidad se encuentra en el **Anexo 6** y se procede a calcular la pérdida de calor infiltraciones y renovaciones de acuerdo con la **Ecuación 15** nos queda de la siguiente manera.

Para el calor específico es (1006 y 1006) $\frac{J}{kg K}$ respectivamente

$$C_{p,aire} = \left(\frac{(1006 - 1006)(3 - 2)}{0 - 5} + 1006\right) \frac{J}{kg K}$$

$$C_{p,aire} = 1006 \frac{J}{kg K}$$

Para la densidad los valores son (1,292 y 1,269) $\frac{J}{kg K}$ respectivamente

$$\rho_{aire} = \left(\frac{(1,292 - 1,269)(3 - 0)}{0 - 5} + 1,292 \right) \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{aire} = 1,278 \frac{kg}{m^3}$$

$$\dot{Q}_{ir} = \dot{V}_n \rho_{aire} C_{p,aire} (T_{mayor} - T_{menor})$$

$$Q_{ir} = \left(54,26 \frac{m^3}{h} \right) \left(1,278 \frac{kg}{m^3} \right) \left(1006 \frac{J}{kgK} \right) (21^\circ C - 3^\circ C)$$

$$Q_{ir} = 348,8 W$$

6.1.3.4 Calor cedido por luminarias

El cuarto frio consta de dos luminarias los mis que tienen una potencia de 15 watts cada uno, con la **Ecuación** 11 se procede a realizar los cálculos.

$$Q_{lum} = n P F_{ul} F_{sa} (W)$$

Los valores de los factores F_{ul} y el factor F_{sa} para realizar los cálculos se encuentran en la siguiente **Tabla 6**.

Tabla 5. Factores a utilizarse.

Factores a Utilizar	Residencial	Comercial	Industrial
Diversificación			
<i>Punto de iluminación</i>	0.70	1.00	1.00
<i>Toma de corriente</i>	0.35	0.70	0.70
<i>Cocina eléctrica (inducción)</i>	0.80	1.00	1.00
<i>Cargas Especiales, Ducha</i>	1.00	1.00	1.00
Coincidencia	0.70	0.80	1.00
Factor de Potencia	0.92	0.92	0.92

Fuente. (I-DICO-91.1-INSTRUCTIVO)

Datos

$$P_{luminaria} = 15 W$$

$$n = 2$$

$$F_{ul} = 1$$

$$F_{sa} = 1$$

$$Q_{lum} = n P F_{ul} F_{sa} (W)$$

$$Q_{lum} = (2)(15)(1)(1) kW$$

$$Q_{lum} = 30 W$$

6.1.3.5 Calor cedido por motores

La planta de producción de cerveza artesanal consta de un motor que tiene una potencia de 1 HP utilizando la **Ecuación 14** se procede a calcular de la siguiente manera.

Datos

$$P = 1HP = 0,746 \text{ kW}$$

$$E_M = 0,89$$

$$F_{UM} = 1$$

$$F_{LM} = 1$$

$$Q_{mot} = PF_{UM}F_{LM} \text{ (W)}$$

$$Q_{mot} = (746)(0,7)(0,8) \text{ W}$$

$$Q_{mot} = 417,76 \text{ W}$$

$$Q_{EE} = Q_{lum} + Q_{mot}$$

$$Q_{EE} = 30 \text{ W} + 417,76 \text{ W} = 447.76 \text{ W}$$

6.1.3.6 Carga del producto

En el cuarto frío de refrigeración se necesita almacenar 120 litros de cerveza artesanal, para los valores de la densidad y el calor específico se indican en el **Anexo 5**, con la ayuda de la **Ecuación 9** se procede a realizar los cálculos.

Datos

$$C_{p.agua} = 4,186 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right)$$

$$V = 120 \text{ l} = 120 \text{ kg}$$

$$T_F = 3^\circ\text{C}$$

$$T_i = 21^\circ\text{C}$$

$$t = 2 \text{ h} = 7200 \text{ s}$$

$$Q = \frac{mC_p(T_F - T_i)}{t}$$

$$Q_{prod} = \frac{(120 \text{ kg})(4,186 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right))(21^\circ\text{C} - 3^\circ\text{C})}{7200 \text{ s}}$$

$$Q_{prod} = 1255,8 \text{ W}$$

6.1.3.1 Calor latente

Para evitar la proliferación de bacterias los cuartos fríos deben detener una humedad relativa del 75% (Puerto Castellanos, 2009). con la ayuda de la **Ecuación 20** y el diagrama Psicrométrico se procede a realizar los cálculos.

Datos

$$H. R_{ext.} = 60\% \quad T = 21 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H. R_{int.} = 75\% \quad a \quad T = 3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\dot{V}_t = 28,7 \frac{m^3}{h}$$

$$\rho_{aire} = 1,29 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_l = 590 \dot{V}_t \rho_{aire} (W_0 - W_i)$$

$$W_0 = 0,012 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_i = 0,004 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_l = (590) \left(28,7 \frac{m^3}{h} \right) \left(1,29 \frac{kg}{m^3} \right) \left(0,0149 \frac{g_{agua}}{kg_{aire}} - 0,0044 \frac{g_{agua}}{kg_{aire}} \right) \frac{kcal}{h}$$

$$Q_l = 426,6 \frac{kcal}{h}$$

$$Q_l = \left(187,85 \frac{kcal}{h} \right) \left(\frac{4,187 \text{ kJ}}{1 \text{ kcal}} \right) \left(\frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} \right)$$

$$Q_l = 499,6 \text{ W}$$

6.1.3.2 Cargas de transferencia de calor por radiación

Puesto que el cuarto de diseño no cuenta con ninguna ventana o vidrio la transferencia de calor por radiación es cero.

6.1.3.3 Carga total de refrigeración requerida en el sistema

Es la suma de todas las cargas de calor calculadas.

$$Q_T = (Q_{pared,techo,piso} + Q_{personas} + Q_{ir} + Q_{EE} + Q_{product} + Q_l)$$

$$Q_T = (744,57 \text{ W} + 319,6 \text{ W} + 348,8 \text{ W} + 447,76 \text{ W} + 1255,8 \text{ W} + 499,6 \text{ W})$$

$$Q_T = 3616,13 \text{ W}$$

$$Q_T = 3,62 \text{ kW}$$

Se debe tener en consideración un factor del 10% para evitar diversos factores los mismo que pueden requerir una mayor carga de refrigeración (DOSSAT, 2001).

$$Q_{T.requerida} = (3,62 \text{ kW})(1,10)$$

$$Q_{T.requerida} = 4 \text{ kW}$$

6.1.3.1 Selección de los componentes de refrigeración

- Selección del evaporador

$$cap_{ref} = 4 \text{ kW}$$

$$cap_{ref} = 4 \text{ kW} \frac{1 \text{ Ton}_{ref}}{3,52 \text{ kW}}$$

$$cap_{ref} = 1,14 \text{ Ton}_{ref}$$

De acuerdo a los cálculos realizados se necesita un evaporador que tenga una capacidad de 4 KW o de 1,14 Ton_{ref} , con el fin de absorber todo ese calor de la cámara fría.

Diagrama del ciclo termodinámico. Lo la ayuda del programa coolpack se graficó el ciclo ideal termodinámico para localizar las características como son presión, temperatura y la entalpía como se observa en la **Figura 19**.

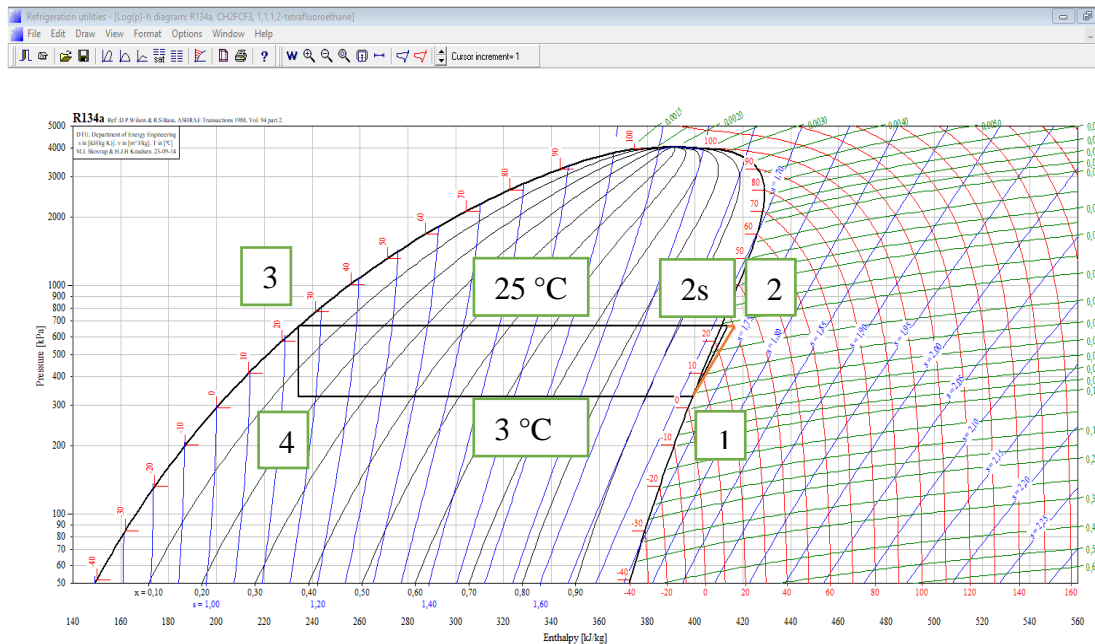


Figura 19. Ciclo de refrigeración del refrigerante R132a.

Tabla 6. Características de los niveles en el ciclo termodinámico

Nivel	Presión kPa	Temperatura °C	Entalpía (kJ/kg)
1	326	3	398,93
2	665	25	413,59
3	665	25	234,29
4	326	3	234,29

Efecto refrigerante. El ER se calcula mediante la diferencia del nivel 1 y el nivel 4

$$ER = h_1 - h_4$$
$$ER = 398,93 \frac{kJ}{kg} - 234,29 \frac{kJ}{kg}$$
$$ER = 164,64 \frac{kJ}{kg}$$

Flujo másico. Flujo másico del refrigerante, este se obtiene mediante la división de la capacidad de refrigeración y el efecto del refrigerante.

$$\dot{m} = \frac{cap_{ref}}{ER}$$
$$\dot{m} = \frac{4 \text{ kW}}{164,64 \frac{kJ}{kg}}$$
$$\dot{m} = 0,02 \frac{kg}{s}$$

Potencia del compresor. Se calculó, mediante la multiplicación del flujo másico del refrigerante con la diferencia de entalpías del nivel 2 menos el nivel 1.

$$N_{1-2} = \dot{m}(h_{2s} - h_1)$$
$$N_{1-2} = 0,02 \frac{kg}{s} (413,59 \frac{kJ}{kg} - 398,93 \frac{kJ}{kg})$$
$$N_{1-2} = 0,3 \text{ kW}$$
$$N_{1-2} = 0,4 \text{ HP}$$

La potencia real que se encuentra en el mercado es de 1/2 HP, con este valor de potencia se calcula la entalpía 2 real.

$$N_{real} = 1/2 \text{ HP} = 0,4 \text{ kW}$$
$$N_{real} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\frac{N_{real}}{\dot{m}} = (h_2 - h_1)$$

$$h_2 = \frac{N_{real}}{\dot{m}} + h_1$$

$$h_2 = \frac{0,4 \text{ kW}}{0,02 \frac{\text{kg}}{\text{s}}} + 398,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = 417,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Calor rechazado por el condensador. se calcula mediante la multiplicación del flujo del refrigerante por la diferencia de entalpías entre la entrada en el nivel 2 y la salida del condensador en el nivel 3.

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3)$$

$$Q_c = 0,02 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (426,93 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 234,29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}})$$

$$Q_c = 3,7 \text{ kW}$$

Cálculo de condensador. Para el cálculo del condensador se busca su capacidad nominal, esto para determinar la potencia de trabajo.

Mediante la **Figura 20**, se puede obtener cual es el factor de corrección que se debería tener tomando en cuenta el refrigerante a usar.

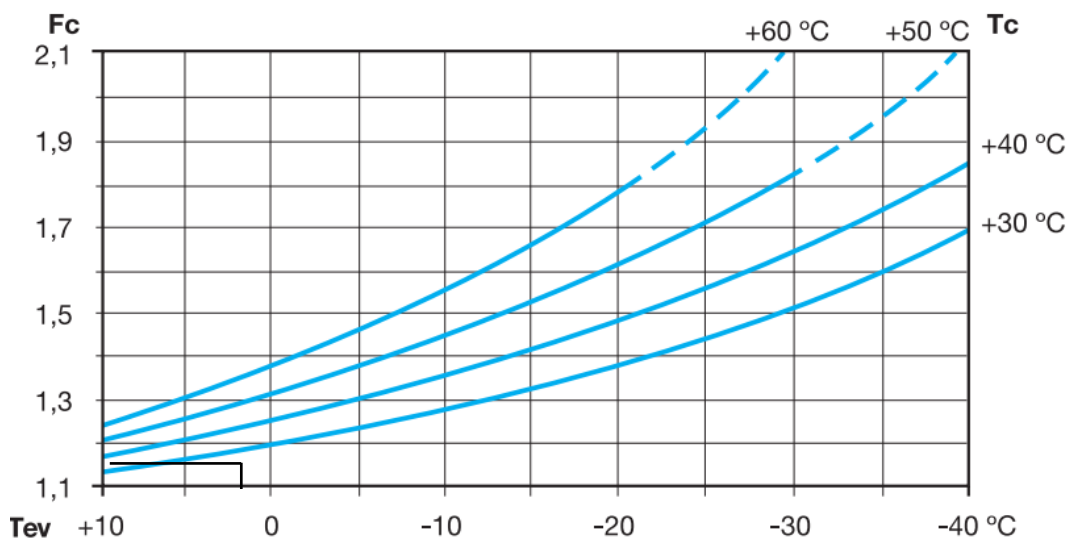


Figura 20. Factor de calor presión.

Fuente: (FRIMETAJ. 2019)

El factor de corrección es $F_c = 1,18$

Los factores de corrección del refrigerante se muestran en la **Tabla 8**.

Tabla 7. Factor de corrección de refrigerante

Refrigerante	R-404A	R-134a
Fr	1	1,07

Fuente: (FRIEMTAL. 2019)

Para el factor del refrigerante (Fr). En este caso esta corrección se da de acuerdo del tipo de refrigerante que se va a usar en el sistema como el concepto de capacidad de refrigeración. Para nuestro caso el refrigerante a usar es R-134a, por lo tanto, se tiene un factor de 1,07.

Para el factor de la altura (Fa). Este factor es de acuerdo a la altura a la cual se va a instalar el cuarto refrigerado y se define mediante la **Tabla 9**.

Tabla 8. Factor de corrección respecto a la elevación

Altura (metros)	Factor de corrección
0	1
400	1,03
800	1,06
1200	1,09
1600	1,12
2000	1,16
2400	1,20
2850	1,245

Fuente: (FRIEMTAL. 2019)

Por lo tanto, para el caso de este análisis el factor de altitud es de 1,22 haciendo un promedio debido a la altura del barrio Las lagunas, la cual se encuentra a 2600 msnm. Con los datos anteriores y sabiendo la capacidad frigorífica cap_{ref} de la instalación, se calcula la Capacidad Nominal del condensador Q_n mediante la siguiente ecuación:

$$Q_n = cap_{ref}(F_c)(F_r)(F_a) \frac{15}{T_{condensación} - T_{ambiente}}$$

$$Q_n = 4 \text{ kW}(1,18)(1,07)(1,22) \left(\frac{15}{4}\right)$$

$$Q_n = 23,11 \text{ kW} = 78854,593 \frac{\text{BTU}}{\text{h}}$$

Cálculo del Rendimiento Isoentrópico.

$$\eta_s = \frac{N_{1-2s}}{N_{1-2}}$$
$$\eta_s = \frac{0,3}{0,4} = 79 \%$$

Cálculo del coeficiente de operatividad (COP). Se consigue al dividir la capacidad de refrigeración calculada anteriormente para el trabajo del compresor.

$$COP = \frac{cap_{ref}}{N_{1-2}}$$

$$COP = \frac{4 \text{ kW}}{0,4 \text{ kW}} = 10$$

Selección de la válvula de expansión

Para la selección de la válvula de expansión se necesita de la capacidad de refrigeración y el refrigerante se utiliza en este caso es el R134a.

$$cap_{ref} = 4 \text{ kW} \frac{1 \text{ Ton}_{ref}}{3,52 \text{ kW}}$$

$$cap_{ref} = 1,14 \text{ Ton}_{ref}$$

Se utiliza una válvula de expansión termostática SPORLAN, tipo F-EF-G-EG para una capacidad nominal de 5,28 kW, la temperatura de trabajo va desde 10 °C a -10 °C como se puede observar en la **Figura 21**.

12, 134a, 401A, 409A

CAPACIDADES DE VALVULAS DE EXPANSION TERMOSTATICA kW

APLICACIONES DE AIRE ACONDICIONADO, BOMBAS DE CALOR Y REFRIGERACION COMERCIAL

TIPO DE VALVULA	CAPACIDAD NOMINAL		REFRIGERANTE											
			12			134a			401A			409A		
			CARGA TERMOSTATICA RECOMENDADA											
			FC, FCP60			JC, JCP60			XC, XCP60			FC, FCP60		
TEMPERATURA DE EVAPORACION (°C)														
	tons	kW	10°	0°	-10°	10°	0°	-10°	10°	0°	-10°	10°	0°	-10°
NI-F-EF-G-EG	1/8	0.44	0.46	0.49	0.44	0.54	0.59	0.52	0.58	0.63	0.57	0.55	0.59	0.53
F-EF-G-EG	1/6	0.59	0.72	0.85	0.82	0.86	1.02	0.97	0.93	1.10	1.05	0.87	1.02	0.99
NI-F-EF-G-EG	1/4	0.88	0.90	1.07	1.02	1.08	1.27	1.21	1.16	1.37	1.33	1.08	1.28	1.23
NI-F-EF-G-EG	1/2	1.76	1.82	1.96	1.74	2.18	2.34	2.08	2.34	2.53	2.27	2.19	2.36	2.11
NI-F-EF-G-EG	1	3.52	3.64	3.93	3.50	4.36	4.68	4.16	4.67	5.06	4.53	4.38	4.73	4.22
F-EF-G-EG	1-1/2	5.28	5.82	6.28	5.60	6.97	7.50	6.65	7.47	8.09	7.25	7.00	7.56	6.76
F&EF(Ext)-G&EG(Ext)-C(Int)-S	2	7.03	7.28	7.84	7.00	8.71	9.37	8.32	9.34	10.1	9.06	8.75	9.45	8.45
C-S	2-1/2	8.79	9.10	9.81	8.74	10.9	11.7	10.4	11.7	12.6	11.3	10.9	11.8	10.6
F&EF(Ext)-C-S	3	10.6	10.9	11.8	10.4	13.1	14.1	12.5	14.0	15.1	13.6	13.1	14.2	12.6
C&S(Ext)	5	17.6	19.5	18.4	14.2	23.3	21.9	16.9	25.0	23.7	18.4	23.4	22.1	17.1
S(Ext)	6	21.1	23.4	22.0	17.0	28.0	26.3	20.3	30.0	28.4	22.0	28.1	26.6	20.6
S(Ext)	10	35.2	35.6	34.8	27.9	42.6	41.5	33.2	45.7	44.8	36.1	42.8	41.9	33.7
H	1-1/2	5.28	5.82	6.28	5.60	6.97	7.50	6.65	7.47	8.09	7.25	7.00	7.56	6.76
H	3	10.6	10.9	11.8	10.3	13.1	14.1	12.2	14.0	15.1	13.3	13.1	14.2	12.3
H	4	14.1	14.6	15.7	13.7	17.4	18.7	16.3	18.7	20.3	17.7	17.5	18.9	16.5
H	5	17.6	18.2	19.6	17.0	21.8	23.4	20.4	23.4	25.3	22.1	21.9	23.6	20.6
H	8	28.1	27.3	29.5	25.6	32.7	35.1	30.5	35.0	37.9	33.2	32.8	35.4	30.9
H	12	42.2	42.6	45.9	39.9	51.0	54.8	47.5	54.6	59.2	51.7	51.2	55.4	48.3
M	13	45.7	47.3	51.0	44.0	56.6	60.9	52.3	60.7	65.7	56.9	56.9	61.4	53.1
M	15	52.8	56.4	60.8	52.3	67.5	72.6	62.4	72.4	78.4	67.9	67.8	73.3	63.3
M	20	70.3	72.8	78.4	67.6	87.1	93.7	80.4	93.4	101	87.5	87.5	94.5	81.6
M	25	88.0	91.0	98.1	84.5	109	117	101	117	126	110	109	118	102

Figura 21. Capacidades de válvulas de expansión termostática

Fuente: (Patel & Goyena, 2019)

Procesamiento del tercer objetivo

Habiendo obtenido los resultados mediante cálculos establecidos, se dispone a seleccionar los equipos que satisfagan las necesidades del sistema de refrigeración. Se

6.1.4 Análisis de costos del proyecto

Una vez calculada la potencia frigorífica que se requiere para el cuarto frío procedemos a hacer un análisis tentativo de costos del proyecto, así también se presentarán cotizaciones para hacer comparaciones de costos frente a diferentes empresas que se dedican a las instalaciones de cuartos fríos para la industria.

Para la correcta inversión del cuarto frío de refrigeración para la planta de producción de cerveza artesanal se propuso un diseño correcto, así como una correcta selección de equipos y accesorios.

Costos tentativos de los equipos para el diseño

Se realizó la **Tabla 10**, donde podemos observar los costes tentativos de los equipos. Donde constarán los principales equipos y accesorios adicionales del sistema de control de refrigeración, los cuales serán de acuerdo con el proveedor.

Se eligen un equipo que funcione con refrigerante R134a ya que es un refrigerante que amigable con el ambiente y no afecta a la capa de ozono.

Tabla 9. Costos de equipos de refrigeración mano de obra y servicio técnico

Descripción	Modelo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Evaporador de la marca INTARCON ver Anexo 13.	MSH-QG-30 038	1	\$ 6 692,00	\$ 6.692,00
Unidad condensadora Danfoss ver Anexo 14	OP-HJZ028D	1	\$ 572,00	\$ 572,00
Válvula de expansión ver Observar la Figura 21.	F-EF-G-EG	1	\$ 71,00	\$ 71,00
Aislante Térmico Accesorios	Fibra de vidrio rollos	3	\$ 180,00	\$ 540,00
			12 %	\$ 945,00
			Subtotal	\$ 7.875,00
			Total	\$ 8.820,00

Costos de instalación

En el costo de instalación involucra la mano de obra, donde se tendrá un técnico eléctrico y técnicos en refrigeración, también se debe tener en consideración un costo por alguna eventualidad en el transcurso de la instalación. En la **Tabla 9** se indican los costos de instalación.

Tabla 10. Costo por mano de obra

Mano de obra	Valor
Técnico eléctrico	\$ 200,00
Técnico en refrigeración	\$ 200,00
Costos eventuales	\$100,00
Costo total de mano de obra	\$ 500,00

Costo total de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión no considera el valor del dinero en el tiempo, una vez que se tiene el valor del equipo procedemos a calcular los valores como se indica en la **Tabla 10** a continuación.

Tabla 11. Valores del equipo, materiales, mano de obra y servicio técnico

EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
COSTOS DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN DE LA Tabla 10	1	\$ 8820,00	\$ 8.820,00
MANO DE OBRA		\$ 500,00	\$ 500,00
		SUB TOTAL	\$ 9.320,00
		IVA 12%	\$ 1.118,40
		TOTAL	\$ 10.438,40

El costo total de la inversión es de \$ 10.438,40 estimamos que con esta inversión el productor de la cerveza tiene una ganancia neta aproximada de \$ 500,00 dólares con la comercialización de cerveza artesanal dando un valor anual de \$ 6.000,00 dólares, con estos datos calculamos el periodo de retorno utilizando la **Ecuación 27**.

Datos

$$\text{inversión inicial} = \$ 10.438,40$$

ganacias promedio de los periodos = \$ 500,00 Ganancia por la comercialización de la cerveza artesanal.

$$PRI = \frac{\text{inversión inicial}}{\text{ganacias promedio de los periodos}} \quad PRI = \frac{\$ 10.438,40}{\frac{\$ 500,00}{\text{mes}}}$$

$$PRI = 20,9 \text{ meses}$$

$$PRI = \frac{20,9 \text{ meses}}{12 \frac{\text{meses}}{\text{año}}}$$

$$PRI = 1,7 \text{ años}$$

Para calcular el periodo de retorno de la inversión partimos del costo total de la instalación del equipo de refrigeración en el periodo cero luego tomamos un flujo en mi caso el flujo es positivo cada mes, como podemos observar **Tabla 13** el período de recuperación es a partir del mes 21 donde se cubre el monto de la inversión.

Tabla 12. Periodo de retorno de la inversión

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN		
Períodos en meses	Flujo	Acumulado
0	10438.40	
1	\$500	\$500
2	\$500	\$1.000
3	\$500	\$1.500
4	\$500	\$2.000
5	\$500	\$2.500
6	\$500	\$3.000
7	\$500	\$3.500
8	\$500	\$4.000
9	\$500	\$4.500
10	\$500	\$5.000
11	\$500	\$5.500
12	\$500	\$6.000
13	\$500	\$6.500
14	\$500	\$7.000
15	\$500	\$7.500
16	\$500	\$8.000
17	\$500	\$8.500
18	\$500	\$9.000
19	\$500	\$9.500
20	\$500	\$10.000
21	\$500	\$10.500
22	\$500	\$11.000
23	\$500	\$11.500
24	\$500	\$12.000

6.2 Resumen de los cálculos

En la **Tabla 14**, se tiene un resumen de los resultados de los cálculos para el diseño del cuarto frío.

Tabla 13. Cargas de refrigeración para el cuarto frío

Cargas	Resultados obtenidos
Carga por conducción	910,50 W
Carga por personas	319,60 W
Carga por infiltración y ventilación	426,40 W
Carga por equipos eléctricos	447,76 W
Cargar por producto	1500,00 W
Calor latente	499,60 W
Carga total	3620,00 W
Capacidad de refrigeración	4000,00 W
Rendimiento Isoentrópico	79 %
Coefficiente de Operatividad (COP)	13,33

7 Discusión

En el presente proyecto se realiza el diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro en el barrio Las Lagunas, el cual está enfocado en el mejoramiento de la planta de producción.

Para un diseño correcto se realizó cálculos de las cargas en las distintas fuentes generadoras de calor que se encuentran dentro de la planta de producción de cerveza como son por conducción, por personas, por luminarias, motores, por producto. Ya que de estos cálculos depende la selección correcta del equipo de refrigeración que cumplan con los parámetros de demanda.

Los cálculo de las cargas de enfriamiento se debe tener en cuenta que el calor que se quiere retirar rara vez resulta de una sola fuente de calor, si es que es la suma de diferentes cargas térmica provenientes de distintas fuentes(DOSSAT, 2001).

A la carga total obtenida es necesario agregarle siempre un factor de seguridad para evitar problemas en el funcionamiento del equipo de refrigeración.

La capacidad de refrigeración se calcula por el periodo de funcionamiento ya que siempre de haber un tiempo para el descongelamiento para evitar escarcha en equipo.

Generalmente, un 10% del factor de seguridad es aplicado a la carga calculada para permitir posibles discrepancias entre los criterios de diseño y operación actual. La capacidad del sistema de refrigeración será suficiente para manejar la carga con el tiempo real de operación, permitiendo ciclos de descongelación.(ASHRAE, 2017)

Para el correcto diseño o rediseño de instalaciones de refrigeración es necesario el conocimiento de los principios básicos de mecánica de los fluidos, termodinámica y transferencia de calor.(Refrigeración)

Al realizar los cálculos es obtuvo un valor 4 kW de capacidad de refrigeración para un volumen de 45 m³ del cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal. Existen cuartos fríos donde se tiene valores mayores esto depende de la cantidad del producto que se almacena y del volumen del cuarto como es el caso del diseño y simulación de un cuarto frío en un espacio de 75 m³ de refrigeración donde se tiene una capacidad de refrigeración de 13,36 kW (Rodrigo, 2013).

Con los cálculos del evaporador, compresor, condensador y válvula de expansión se procede a la selección de los equipos, para culminar el diseño del cuarto frío de refrigeración.

Con la selección de los equipos se conoce los costos de cada uno para posteriormente realizar un análisis económico se y conocer el periodo de recuperación de la inversión.

Con el análisis económico se puede evidenciar que los equipos seleccionados van a estar disponibles en el mercado, con ello se tendría un valor tentativo de cuanto sería el valor total de inversión (Rodrigo, 2013).

Una vez terminada la fermentación la cerveza debe estar a temperaturas corno a los 0 °C para que los aromas y sabores se armonicen junto con las levaduras y proteínas.

8 Conclusiones

- Se diseñó un cuarto frío de refrigeración para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad Las Lagunas.
- Mediante el levantamiento de información se conoció los materiales y equipos que se requieren para que la planta de producción.
- Se identificó la cantidad de calor que se requiere retirar del cuarto frío de refrigeración, lo cual nos permitió seleccionar el equipo que cumpla con las especificaciones de la planta.
- Mediante los cálculos de las pérdidas de calor que se obtuvo es de 4 kW, con este valor se procede a la selección del evaporador.
- Mediante el análisis económico se conoce la inversión inicial que se debe realizar para la puesta en marcha el proyecto es de \$ 10.438,40.

9 Recomendaciones

- Se recomienda que el sistema de cocción se lo ubique en un lugar alejado de los equipos a enfriar para obtener mayor rendimiento del cuarto frío.
- Se recomienda implementar un plan de mantenimiento de los equipos para el cuarto frío.
- La instalación del equipo debe ser de tal forma que se pueda dar un mantenimiento correcto cuando este lo necesite.
- Se recomienda que el diseño se lleve a efecto ya que es un emprendimiento que está en crecimiento y los costos no son muy altos.
- El evaporador debe ser instalado lejos de puertas o ventanas, lejos de lugares donde exista ventilación o infiltraciones.

10 Bibliografía

- Chuqui, D. A. (2019). *AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL MEDIANTE UN PLC, INTERFACE HMI Y CONTROL REMOTO DESDE DISPOSITIVOS MÓVILES*. Quito.
- Hernández, M. A. (s.f.). *MANUAL DE BUENAS PRACTICAS EN REFRIGERACION. La Refrigeración y La Inocuidad de Los Alimentos*. (10 de 2019). Obtenido de <https://es.scribd.com/document/320832093/La-Refrigeracion-y-La-Inocuidad-de-Los-Alimentos#>
- Mingzhang Pan 1, H. Z. (2020). A Review of the Cascade Refrigeration System. *energies*, 3.
- ministerio de producción, c. e. (2021). *BUENAS PRÁCTICAS EN LOS PROCESOS DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO*.
- Vázquez, A. B. (2017). *CALOR Y TEMPERATURA*.
- Villalba Lozano, E. D. (2019). *SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE REFRIGERACIÓN POR COMPRESIÓN DE VAPOR USANDO NANOFUIDOS COMO FLUIDO SECUNDARIO*. Arequipa – Perú.
- Zélis, L. M. (2018). *TERMODINÁMICA*. eulp.
- ASHRAE. (2013). *Guía de bolsillo de ASHRAE para aire acondicionado, calefacción, ventilación, refrigeración*.
- ASHRAE. (2017). Load Calculation Applications Manual. In *Ashrae* (Issue 2nd). <http://www.carrier.com/commercial/en/us/software/hvac-system-design/>
- Blanco, L. (2017). Universidad Nacional Tecnológica De Lima Sur. *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, 1, 7*.
- Bonilla, S., Castelo, J., Orozco, L., & Jácome, E. (2018). Analisis del funcionamiento de sistemas de refrigeración por compresión y absorción. *Observatorio de La Economía Latinoamericana, 1696–8352, 20*.
- Bravo Orellana Sergio. (2016). Evaluación de inversiones. In *Jurnal Penelitian Pendidikan Guru Sekolah Dasar* (Vol. 6, Issue August).
- Capitulo 6 ASHRAE. (1985). *Cálculo de Cargas de Enfriamiento*.
- Cengel Yanus A., & Afshin, G. (n.d.). *transferencia de calor y masa fundamentos y aplicaciones. cuarta edi*.

- DOSSAT, R. (2001). *Principios de Refrigeracion* (p. 164).
- Echeverria, R. (2015). *Finanzas Corporativas Presupuesto de Capital*. 25.
<https://www.uv.mx/personal/alsalas/files/2013/09/TECNICAS-DE-EVALUACION.pdf>
- Ferreya, L. (2014). Elaboración de cerveza: Historia y evolución , desarrollo de actividades de capacitación e implementación de mejoras tecnológicas para productores artesanales. *Universidad Nacional de La Plata*, 1–69.
<http://lipa.agro.unlp.edu.ar/wp-content/uploads/sites/29/2020/03/Trabajo-Final-Leonel-Ferreya-.pdf>
- FUCHS lubricantes Industriales. (2014). *Aceites de refrigeración*. 36.
- Gisbert, V. M. (2016). Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza. *Universidad Politécnica de Valencia. Campus de Alcoy*, 78.
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73275/Diseño y puesta en marcha de una planta elaboradora de cerveza.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/73275/Diseño_y_puesta_en_marcha_de_una_planta_elaboradora_de_cerveza.pdf?sequence=3)
- Huarisueca, E., & Ramos, B. (2020a). FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 01 Facultad de Ingeniería y Arquitectura. *Universidad Andina Del Cusco*, 1–118.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Huarisueca, E., & Ramos, B. (2020b). FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA 01 Facultad de Ingeniería y Arquitectura. In *Universidad Andina del Cusco*.
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- I-DICO-91.1-INSTRUCTIVO. (n.d.). *Página 1 de 27*. 1–27.
Instituto politécnico nacional. (2016).
- Manchengo, C., & Mera, J. (2020). *Diseño de una cámara frigorífica para la conservación de medicinas en comunidades alejadas de la región Selva del Perú*.
Manual-refrigeracion-y-aire-acondicionado. (n.d.).
- Mendoza P., & Montañez B. (2020). *Elaboración De Un Plan De Mantenimiento Interactivo, Para Sistemas De Refrigeración Comercial De Media Y Baja Temperatura, Instalados Por La Empresa Diac Ingeniería*.
- NEC. (2018). Arq . Cristóbal Leonel Chica Martínez Arq . Jenny Lorena Arias Zambrano. *NEC*.

- Patel, & Goyena, R. (2019). 濟無No Title No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 15(2), 9–25.
- Puerto Castellanos, E. A. (2009). *Guía técnica para el Diseño de Cuartos Fríos*. 34. https://efrainpuerto.files.wordpress.com/2012/02/puerto_efrain_guia_tecnica_para_el_disec3b1o_de_cuartos_frios.pdf
- Quezada, C. (2018). Saraguro, un desgrane cultural a sus orígenes. *Revista Illari*, 6, 71–74. http://repositorio.unae.edu.ec/bitstream/123456789/418/1/illari_006_71-74.pdf
- Refrigeración, P. D. E. (n.d.). *Proyecto de refrigeración*. 1–18.
- Renedo, C. J. (2001). *Tablas de entalpia de vaporizacion de agua*. 1–17. [http://personales.unican.es/renodoc/Trasparencias WEB/Trasp_Termo y MF/00 GRADOS/Tablas_Termo.pdf](http://personales.unican.es/renodoc/Trasparencias_WEB/Trasp_Termo_y_MF/00GRADOS/Tablas_Termo.pdf)
- Ribeiro, D. (2014). Calor. *Revista de Ciência Elementar*, 2(1), 1–7. <https://doi.org/10.24927/rce2014.121>
- Rodrigo, M. C. A. (2013). Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. In *Tesis*. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Royo, E. C. (1977). *it*-t*f'o*.
- Siles, A. S. (2015). *Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar*. 2014–2015.
- SIMULACION, A. DE, & USAL. (2019). ManualÊ de. *Manual De Metodologia Da Pesquisa Aplicada À Educaçãõ*, 6, 1–56.
- Stoecker, W. F. (2001). *Refrigeración y Acondicionamiento de Aire* (p. 202).
- Técnica, U., Norte, D. E. L., & Agroindustrial, E. D. E. I. (2010). *Universidad técnica del norte*. *Tecnologica Nacional*. (2005). 1–37.
- Velazques, M. (2022). *Cargas térmicas en refrigeración*.
- 방정숙, 선우진, 조선미, 이유진, 김은경, 김윤영, 박예진, 김경훈, 황지남, & 이하늬. (2019). 국내 수학교육 연구의 동향 분석 -1963년부터 2019년까지 게재된 국내 수학교육 학술지 논문을 중심으로-. *수학교육학연구*, 29(4), 709–739.

11 Anexos

Anexo 1. Valores de conductividades

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m °C)	
ROCAS Y SUELOS NATURALES			
Rocas y terrenos			
– Rocas compactas	2500–3000	3,00	(3,50)
– Rocas porosas	1700–2500	2,00	(2,33)
– Arena con humedad natural	1700	1,20	(1,40)
– Suelo coherente humedad natural	1800	1,80	(2,10)
Arcilla	2100	0,80	(0,93)
Materiales suelos de relleno desecados al aire, en forjados, etc.			
– Arena	1500	0,50	(0,58)
– Grava rodada o de machaqueo	1700	0,70	(0,81)
– Escoria de carbón	1200	0,16	(0,19)
– Cascote de ladrillo	1300	0,35	(0,41)
PASTAS, MORTEROS Y HORMIGONES			
Revestimientos continuos			
– Morteros de cal y bastardos	1600	0,75	(0,87)
– Mortero de cemento	2000	1,20	(1,40)
– Enlucido de yeso	800	0,26	(0,30)
– Enlucido de yeso con perlita	570	0,16	(0,18)
Hormigones normales y ligeros			
– Hormigón armado (normal)	2400	1,40	(1,63)
– Hormigón con áridos ligeros	600	0,15	(0,17)
– Hormigón con áridos ligeros	1000	0,28	(0,33)
– Hormigón con áridos ligeros	1400	0,47	(0,55)
– Hormigón celular con áridos silíceos	600	0,29	(0,34)
– Hormigón celular con áridos silíceos	1000	0,58	(0,67)
– Hormigón celular con áridos silíceos	1400	0,94	(1,09)
– Hormigón celular sin áridos	305	0,08	(0,09)
– Hormigón en masa con grava normal:			
• con áridos ligeros	1600	0,63	(0,73)
• con áridos ordinarios, sin vibrar	2000	1,00	(1,16)
• con áridos ordinarios, vibrado	2400	1,40	(1,63)
– Hormigón en masa con arcilla expandida	500	0,10	(0,12)
– Hormigón en masa con arcilla expandida	1500	0,47	(0,55)
Fábrica de bloques de hormigón incluidas juntas (1)			
– Con ladrillos silicocalcáreos macizo	1600	0,68	(0,79)
– Con ladrillos silicocalcáreos perforado	2500	0,48	(0,56)
– Con bloques huecos de hormigón	1000	0,38	(0,44)
– Con bloques huecos de hormigón	1200	0,42	(0,49)
– Con bloques huecos de hormigón	1400	0,48	(0,56)

Fuente:(Royo, 1993)

Anexo 2. Valores de conductividades

Tabla 3.6. Valores de conductividad térmica λ (Cont.)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m °C)	
MATERIALES AISLANTES TERMICOS			
– Arcilla expandida	300	0,073	(0,085)
– Arcilla expandida	450	0,098	(0,114)
– Aglomerado de corcho UNE 5.690	110	0,034	(0,039)
– Espuma elastomérica	60	0,029	(0,034)
– Fibra de vidrio:			
• Tipo I	10–18	0,038	(0,044)
• Tipo II	19–30	0,032	(0,037)
• Tipo III	31–45	0,029	(0,034)
• Tipo IV	46–65	0,028	(0,033)
• Tipo V	66–90	0,028	(0,033)
• Tipo VI	91	0,031	(0,036)
– Lana mineral			
• Tipo I	30–50	0,036	(0,042)
• Tipo II	51–70	0,034	(0,040)
• Tipo III	71–90	0,033	(0,038)
• Tipo IV	91–120	0,033	(0,038)
• Tipo V	121–150	0,033	(0,038)
– Perlita expandida	130	0,040	(0,047)
– Poliestireno expandido UNE 53 310			
• Tipo I	10	0,049	(0,057)
• Tipo II	12	0,038	(0,044)
• Tipo III	15	0,032	(0,037)
• Tipo IV	20	0,029	(0,034)
• Tipo V	25	0,028	(0,033)
– Poliestireno extrusionado	33	0,028	(0,033)
– Poliestireno reticulado	30	0,033	(0,038)
– Polisocianurato, espuma de	35	0,022	(0,026)
– Poliuretano conformado, espuma de			
• Tipo I	32	0,020	(0,023)
• Tipo II	35	0,020	(0,023)
• Tipo III	40	0,020	(0,023)
• Tipo IV	80	0,034	(0,040)
– Poliuretano aplicado <i>in situ</i> , espuma de			
• Tipo I	35	0,020	(0,023)
• Tipo II	40	0,020	(0,023)
– Urea formol, espuma de	10–12	0,029	(0,034)
– Urea formol, espuma de	12–14	0,030	(0,035)
– Vermiculita expandida	120	0,030	(0,035)
– Vidrio celular	160	0,038	(0,044)

(1) Las densidades se refieren al bloque, no a la fábrica

Es evidente que el valor del coeficiente de transmisión K se encuentra relacionado con la calidad de los materiales y el tratamiento térmico que se les aplique, significando que el resultado de las pérdidas de calor por transmisión pueden variar tomando diversos rumbos que afectan al diseño global de la instalación de calefacción.

Fuente:(Royo, 1977)

Anexo 3. Valores de conductividad térmica

Tabla 3.6. Valores de conductividad térmica λ (Cont.)

Material	Densidad aparente kg/m ³	Conductividad térmica λ kcal/hm °C (W/m °C)	
— Con bloques hormigón celular curado vapor	600	0,30	(0,35)
— Con bloques hormigón celular curado vapor	800	0,35	(0,41)
— Con bloques hormigón celular curado vapor	1000	0,40	(0,47)
— Con bloques hormigón celular curado aire	800	0,38	(0,44)
— Con bloques hormigón celular curado aire	1000	0,48	(0,56)
— Con bloques hormigón celular curado aire	1200	0,60	(0,70)
Placas o paneles			
— Cartón—yeso	900	0,16	(0,18)
— Hormigón con fibra de madera	450	0,07	(0,08)
— Placas de escayola	800	0,26	(0,30)
LADRILLOS Y PLAQUETAS			
— Fábrica de ladrillo macizo	1800	0,75	(0,87)
— Fábrica de ladrillo perforado	1600	0,65	(0,76)
— Fábrica de ladrillo hueco	1200	0,42	(0,49)
— Plaquetas	2000	0,90	(1,05)
VIDRIO (2)			
— Vidrio plano para acristalar	2500	0,82	(0,95)
METALES			
— Función y acero			
— Cobre	7850	50	(58)
— Bronce	8900	330	(384)
— Aluminio	8500	55	(64)
	2700	175	(204)
MADERA			
— Maderas frondosas			
— Maderas de coníferas	800	0,18	(0,21)
— Contrachapado	600	0,12	(0,14)
— Tablero aglomerado de partículas	600	0,12	(0,14)
	650	0,07	(0,08)
PLASTICOS Y REVESTIMIENTOS DE SUELOS			
— Linóleo			
— Moquetas, alfombras	1200	0,16	(0,19)
	1000	0,04	(0,05)
MATERIALES BITUMINOSOS			
— Asfalto			
— Betún	2100	0,60	(0,70)
— Láminas bituminosas	1050	0,15	(0,17)
	1100	0,16	(0,19)

Fuente:(Royo, 1993)

Anexo 4. Valores del coeficiente de transmisión de calor del fluido caliente a la pared (h_1), de la pared al fluido frío (h_2).

	SUPERFICIE	SENTIDO FLUJO	COEF. ADMISION h_1	COEF. EMISION h_2
AIRE EN REPOSO	Pared o ventana		7	7
	Pared o ventana 45°		7,5	7,5
	Horizontal		7	7
		5	5	
AIRE EN MOVIMIENTO 10–12 Km/h	Pared exterior		7	20
	Horizontal			
			5	
Terreno	Suelo		5	14

Tabla 3.5. Valores de la resistencia a la conductibilidad de las capas de aire

POSICION DE LA CAPA DE AIRE	SENTIDO FLUJO	ESPESOR EN mm.	RESISTENCIA $\frac{e}{\lambda}$ en $\frac{m^2 h \text{ } ^\circ C}{Kcal.}$
VERTICAL AIRE		10	0,16
		20	0,19
		50	0,21
		100	0,20
		150	0,19
HORIZONTAL AIRE		10	0,16
		20	0,17
		≥ 50	0,19
		10	0,17
		20	0,21
		≥ 50	0,24

Fuente:(Royo, 1993)

Anexo 5. Propiedades del agua

Temperatura (°C)	Densidad ρ (kg/m ³)	Calor Especifico c_p (J/kg°C)	Conductiv. térmica k (W/m°C)	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^6$ (N.seg/m ²)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)
0	999,9	4226	0,558	1794	1,789
20	998,2	4182	0,597	1004	1,006
40	992,3	4178	0,633	653,0	0,658
60	983,2	4181	0,658	470,0	0,478
80	971,8	4194	0,673	353,7	0,364
100	958,4	4211	0,682	281,0	0,294
140	926,1	4279	0,687	198,2	0,214
180	887,0	4413	0,678	153,5	0,173
220	840,5	4606	0,656	126,0	0,150
260	784,0	4944	0,614	107,5	0,137
300	712,5	6594	0,543	94,1	0,132

Fuente. (Renedo, 2001)

Anexo 6. Propiedades de aire

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., T, °C	Densidad, ρ , kg/m ³	Calor específico, c_p , J/kg · K	Conductividad térmica, k, W/m · K	Difusividad térmica, α , m ² /s ²	Viscosidad dinámica, μ , kg/m · s	Viscosidad cinemática, ν , m ² /s	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1 000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1 500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2 000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para los gases ideales, las propiedades c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P (en atm) diferente de 1 atm se determinan al multiplicar los valores de ρ a la temperatura dada, por P y al dividir ν y α entre P .

Fuente: Datos generados basándose en el software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 1984, y Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-30607020-8.

Fuente. (Cengel Yanus A. & Afshin, n.d.)

Anexo 8. Coeficientes de sombreado para vidrio con o sin sombreado interior por persianas venecianas enrollables

	Tipo de vidrio	Espesor nominal de cada vidrio claro ^a	Transmisión solar ^b	Sin sombreado interior		Tipo de sombreado interior								
						Persianas venecianas		Persianas enrollables						
						Medio	Claro	Opacas	Translúcidas	Claro				
					$h_o = 4.0$									
VIDRIO SENCILLO	Sencillo	3/32 a 1/4	0.87-0.80	1.00										
	Claro	1/4 a 1/2	0.80-0.71	0.94										
	Claro	3/8	0.72	0.90		0.64	0.55	0.59	0.25	0.39				
	Claro	1/2	0.67	0.87										
	Claro con figuras	1/8 a 9/32	0.87-0.79	0.83										
	Absorbente de calor, con figuras ^c	1/8		0.83										
	Absorbente de calor ^c	3/16 a 1/4	0.46	0.69										
	Absorbente de calor, con figuras	3/16 a 1/4		0.69		0.57	0.53	0.45	0.30	0.36				
	Coloreado	1/8 a 7/32	0.59-0.45	0.69										
	Absorbente de calor, o con figuras		0.44-0.30	0.60		0.54	0.52	0.40	0.28	0.32				
	Absorbente de calor ^c	3/8	0.34	0.60		0.42	0.40	0.36	0.28	0.31				
	Absorbente de calor, o con figuras	1/2	0.24	0.53		0.42	0.40	0.36	0.28	0.31				
Vidrio recubierto reflector			0.30		0.25	0.23								
			0.40		0.33	0.29								
			0.50		0.42	0.38								
			0.60		0.50	0.44								
VIDRIO AISLANTE	Doble ^d	3/32, 1/8	0.71*	0.88		0.57	0.51	0.60	0.25	0.37				
	Claro afuera													
	Claro adentro	1/4	0.61*	0.81										
	Claro afuera													
	Claro adentro	1/4	0.36*	0.55										
	Absorbente de calor afuera													
	Claro adentro					0.39	0.36	0.40	0.22	0.30				
Vidrio recubierto reflector			0.20		0.19	0.18								
			0.30		0.27	0.26								
			0.40		0.34	0.33								
Triple	Claro	1/4		0.71										
	Claro	1/8		0.80										

Reproducido con permiso del 1985 Fundamentals, ASHRAE Handbook & Product Directory

Fuente: (Capítulo 6 ASHRAE, 1985)

Anexo 10. Propiedades del líquido y vapor saturados para el R-134a

R-134a, CH₂F-CF₃, 1,1,1,2-Tetrafluoretano

t (°C)	P (kPa)	ρ_l (kg/m ³)	v_g (m ³ /kg)	h_l (kJ/kg)	h_g (kJ/kg)	s_l (kJ/kg·K)	s_g (kJ/kg·K)
-50	29.5	1446.3	0.6056	135.7	367.6	0.741	1.780
-48	33.1	1440.6	0.5436	138.2	368.9	0.752	1.777
-46	37.0	1434.9	0.4891	140.6	370.2	0.763	1.774
-44	41.4	1429.2	0.4410	143.1	371.5	0.774	1.770
-42	46.1	1423.5	0.3985	145.6	372.7	0.785	1.767
-40	51.2	1417.7	0.3608	148.1	374.0	0.796	1.764
-38	56.9	1411.9	0.3273	150.7	375.3	0.806	1.761
-36	62.9	1406.1	0.2975	153.2	376.5	0.817	1.759
-34	69.6	1400.2	0.2709	155.7	377.8	0.828	1.756
-32	76.7	1394.3	0.2471	158.2	379.1	0.838	1.754
-30	84.4	1388.4	0.2258	160.8	380.3	0.849	1.751
-28	92.8	1382.4	0.2067	163.3	381.6	0.859	1.749
-26	101.7	1376.5	0.1895	165.9	382.8	0.869	1.747
-24	111.4	1370.4	0.1739	168.5	384.1	0.880	1.745
-22	121.7	1364.4	0.1600	171.1	385.3	0.890	1.743
-20	132.8	1358.3	0.1473	173.6	386.5	0.900	1.741
-18	144.7	1352.1	0.1358	176.2	387.8	0.910	1.740
-16	157.4	1345.9	0.1254	178.8	389.0	0.921	1.738
-14	170.9	1339.7	0.1160	181.4	390.2	0.931	1.736
-12	185.4	1333.4	0.1074	184.1	391.4	0.941	1.735
-10	200.7	1327.1	0.0995	186.7	392.7	0.951	1.733
-8	217.1	1320.8	0.0924	189.3	393.9	0.961	1.732
-6	234.4	1314.3	0.0858	192.0	395.1	0.971	1.731
-4	252.9	1307.9	0.0798	194.6	396.2	0.980	1.729
-2	272.4	1301.4	0.0743	197.3	397.4	0.990	1.728
0	293.0	1294.8	0.0693	200.0	398.6	1.000	1.727
2	314.8	1288.1	0.0646	202.7	399.8	1.010	1.726
4	337.9	1281.4	0.0603	205.4	400.9	1.019	1.725
6	362.2	1274.7	0.0564	208.1	402.1	1.029	1.724
8	387.9	1267.9	0.0528	210.8	403.2	1.039	1.723
10	414.9	1261.0	0.0494	213.6	404.3	1.048	1.722
12	443.3	1254.0	0.0463	216.3	405.4	1.058	1.721
14	473.2	1246.9	0.0434	219.1	406.5	1.068	1.720
16	504.6	1239.8	0.0407	221.9	407.6	1.077	1.720
18	537.5	1232.6	0.0383	224.7	408.7	1.087	1.719
20	572.1	1225.3	0.0360	227.5	409.7	1.096	1.718
22	608.3	1218.0	0.0338	230.3	410.8	1.106	1.717
24	646.2	1210.5	0.0318	233.1	411.8	1.115	1.716
26	685.8	1202.9	0.0300	236.0	412.8	1.125	1.716
28	727.3	1195.2	0.0282	238.8	413.8	1.134	1.715
30	770.6	1187.5	0.0266	241.7	414.8	1.143	1.714
32	815.9	1179.6	0.0251	244.6	415.8	1.153	1.714
34	863.1	1171.6	0.0237	247.5	416.7	1.162	1.713
36	912.4	1163.4	0.0224	250.5	417.6	1.172	1.712
38	963.7	1155.2	0.0211	253.4	418.5	1.181	1.712
40	1017.1	1146.7	0.0200	256.4	419.4	1.190	1.711
42	1072.8	1138.2	0.0189	259.4	420.3	1.200	1.710
44	1130.7	1129.5	0.0178	262.4	421.1	1.209	1.710
46	1190.9	1120.6	0.0169	265.5	421.9	1.219	1.709
48	1253.6	1111.5	0.0159	268.5	422.7	1.228	1.708
50	1318.6	1102.3	0.0151	271.6	423.4	1.237	1.707
52	1386.2	1092.9	0.0143	274.7	424.1	1.247	1.706
54	1456.3	1083.2	0.0135	277.9	424.8	1.256	1.705
56	1529.0	1073.4	0.0128	281.1	425.4	1.266	1.704
58	1604.5	1063.2	0.0121	284.3	426.0	1.275	1.703
60	1682.8	1052.9	0.0114	287.5	426.6	1.285	1.702
62	1763.8	1042.2	0.0108	290.8	427.1	1.294	1.701
64	1847.9	1031.3	0.0102	294.1	427.6	1.304	1.700
66	1934.9	1020.0	0.0097	297.4	428.0	1.314	1.699
68	2025.0	1008.3	0.0091	300.8	428.3	1.323	1.697
70	2118.2	996.3	0.0086	304.3	428.6	1.333	1.695

Fuente: R. Tillner-Roth and H.D. Baehr, *An International Standard Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2-Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 K to 455 K and Pressures up to 70 MPa*, J. Phys. Chem, Ref. Data, Vol. 23, No. 5, 1994.

Fuente:(ASHRAE, 2017)

Anexo 11. Planta de producción de cerveza artesanal



Anexo 12. Tanque de cerveza artesanal



Anexo 13. Modelo del evaporador le marca INTARCON



serie SH

230V 50Hz / 400V 3N 50Hz | Media temperatura | R-134a / R-449A

Versión axial	Compresor		Potencia frigorífica / Volumen cámara, según temperatura de cámara ⁽¹⁾					Potencia absorb. nominal (kW)	Intens. absorb. (A)	Caudal evap. (m³/h)	Conexión frigorífica Liq - Gas	Carga refig. (kg) ⁽²⁾	Peso (kg)	SPL dB(A) ⁽³⁾	PVP (€)	Versión centrífuga	Caudal cond. (m³/h)	PED (mmca) ⁽⁴⁾	PVP (€)		
	Serie / Modelo	CV	Tensión	0 °C W	5 °C m³	10 °C W	10 °C m³														
R-134a	MSH-QY-30 068	3 1/2	400V 3N	3 854	54	4 646	59	5 513	84	2,00	12,0	2 100	1/4"-3/4"	<4,0	74+43	37	6 340	MSH-CQY-30 068	1 500	14	7 034
	MSH-QY-40 086	4	400V 3N	4 431	63	5 418	68	6 500	100	2,35	14,3	2 100	3/8"-7/8"	<5,0	107+43	48	7 411	MSH-CQY-40 086	3 500	10	8 224
	MSH-QY-41 108	5	400V 3N	5 324	71	6 500	80	7 775	110	2,77	17,3	2 700	3/8"-7/8"	<5,0	109+56	45	8 231	MSH-CQY-41 108	3 500	10	9 137
	MSH-QY-42 136	6 1/2	400V 3N	7 235	110	8 773	180	10 474	280	3,85	22,0	4 150	3/8"-1 1/8"	<5,0	112+72	44	10 288	MSH-CQY-42 136	3 500	10	11 420
	MSH-QY-53 171	8	400V 3N	7 830	135	9 535	185	11 520	300	4,25	24,1	5 200	3/8"-1 1/8"	<5,5	162+89	50	11 931	MSH-CQY-53 171	3 600	10	13 150
	MSH-QY-53 215	10	400V 3N	9 450	175	11 435	230	13 740	350	5,01	30,5	6 200	3/8"-1 1/8"	<5,5	166+94	49	13 122	MSH-CQY-53 215	3 600	10	14 424
MSH-QY-54 271	13	400V 3N	12 400	240	14 760	320	17 420	400	7,13	40,2	8 300	1/2"-1 3/8"	<5,5	171+118	48	15 360	MSH-CQY-54 271	3 600	10	16 972	
R-449A	MSH-QG-30 034	1 1/2	230V *	3 409	39	4 054	62	4 797	99	1,61	16,3	2 100	1/4"-5/8"	<3,5	74+43	38	5 442	MSH-CQG-30 034	1 500	14	5 962
	MSH-QG-30 038	1 3/4	400V 3N	3 647	46	4 301	70	5 063	110	1,79	7,1	2 100	1/4"-5/8"	<3,5	71+43	40	5 722	MSH-CQG-30 038	1 500	14	6 261
	MSH-QG-40 048	2	400V 3N	4 752	67	5 559	99	6 554	159	2,42	9,8	2 100	3/8"-3/4"	<4,5	95+43	36	6 692	MSH-CQG-40 048	3 500	10	7 240
	MSH-QG-40 054	2 1/2	400V 3N	5 203	76	6 060	113	7 106	178	2,61	10,3	2 100	3/8"-3/4"	<5,0	96+43	36	7 135	MSH-CQG-40 054	3 500	10	7 691
	MSH-QG-41 060	3	400V 3N	6 049	86	7 038	128	8 260	198	3,07	11,3	2 700	1/2"-3/4"	<5,0	97+56	36	7 733	MSH-CQG-41 060	3 500	10	8 295
	MSH-QG-41 068	3 1/2	400V 3N	6 545	113	7 581	163	8 866	253	3,44	12,3	2 700	1/2"-3/4"	<5,0	98+56	35	9 291	MSH-CQG-41 068	3 500	10	9 678
	MSH-QG-52 086	4	400V 3N	8 056	125	9 542	185	11 320	315	3,87	15,0	4 150	1/2"-7/8"	<5,0	135+72	48	11 063	MSH-CQG-52 086	3 600	12	11 658
	MSH-QG-52 108	5	400V 3N	9 386	160	11 011	220	12 991	375	4,90	18,0	4 150	1/2"-7/8"	<7,0	157+72	45	11 531	MSH-CQG-52 108	3 600	12	12 126
MSH-QG-53 136	6 1/2	400V 3N	11 894	190	13 856	260	16 173	430	6,67	21,0	6 200	1/2"-1 1/8"	<9,0	140+94	44	12 476	MSH-CQG-53 136	3 600	12	13 069	

Anexo 14. Unidad condensadora Danfoss



Catálogo Unidades Condensadoras Herméticas con R134a (Media y Alta temperaturas)

Tipo de compresor	Ventiladores	Condiciones de prueba	Modelo	Código por versión		Código eléctrico	Compresor	Temperatura ambiente	Capacidad de refrigeración (BTU/h) a temperatura de evaporación						
				D32	D40				-10°C (14°F)	-5°C (23°F)	0°C (32°F)	5°C (41°F)	10°C (50°F)	15°C (59°F)	20°C (68°F)
Reciprocante hermético		sobrecalentamiento 18K subenfriamiento 3K	OP-HJZ018D	114N3207	114N3208	N	MTZ018	32°C (90°F)	5989	7744	9881	12430	15418	18847	22727
				114N3209	114N3210	Q		35°C (95°F)	5638	7346	9424	11904	14811	18148	21927
				114N3211	114N3212	R		38°C (100°F)	5287	6945	8962	11370	14195	17436	21109
			OP-HJZ022D	114N3223	114N3224	N	MTZ022	32°C (90°F)	7586	9888	12599	15735	19290	23259	27617
				114N3225	114N3226	Q		35°C (95°F)	7229	9460	12081	15112	18545	22377	26583
				114N3227	114N3228	R		38°C (100°F)	6868	9021	11549	14473	17778	21469	25525
			OP-HJZ028D	114N3238	114N3239	N	MTZ028	32°C (90°F)	10423	13501	17024	21010	25480	30420	35847
				114N3240	114N3241	Q		35°C (95°F)	9935	12943	16378	20262	24612	29422	34694
						R		38°C (100°F)	9439	12372	15716	19492	23713	28391	33510
			OP-HJZ036D	114N3251	114N3252	N	MTZ036	32°C (90°F)	13475	17100	21263	25993	31282	37140	43549
				114N3253	114N3254	Q		35°C (95°F)	12802	16343	20401	25009	30151	35844	42070
				114N3255	114N3256	R		38°C (100°F)	12138	15587	19536	24011	29004	34527	40571
			OP-HJZ040D	114N3267	114N3268	N	MTZ040	32°C (90°F)	17065	21081	25721	31033	37055	43833	51368
				114N3269	114N3270	Q		35°C (95°F)	16017	19977	24549	29777	35707	42374	49788
				114N3271	114N3272	R		38°C (100°F)	14992	18894	23394	28543	34370	40931	48221
			OP-HJZ050D	114N3281	114N3282	N	MTZ050	32°C (90°F)	16971	22492	28976	36469	45004	54560	65120
114N3283	114N3284	Q		35°C (95°F)	16320	21719		28039	35325	43617	52890	63142			
114N3285	114N3286	R		38°C (100°F)	15608	20876		27025	34104	42148	51132	61067			
OP-HGZ064D	114N3296	114N3297	N	MTZ064	32°C (90°F)	21817	28744	36754	45858	55983	67080	79081			
	114N3298	114N3299	Q		35°C (95°F)	20898	27644	35420	44242	54043	64788	76389			
	114N3300	114N3301	R		38°C (100°F)	19927	26490	34034	42572	52049	62434	73657			
OP-HGZ080D	114N3308	114N3309	Q	MTZ080	32°C (90°F)	28985	37593	47586	59010	71849	86094	101675			
	114N3310	114N3311	R		35°C (95°F)	27761	36128	45829	56917	69366	83185	98308			
					38°C (100°F)	26512	34636	44040	54782	66846	80238	94915			
OP-HGZ100D	114N3318	114N3319	Q	MTZ100	32°C (90°F)	33274	43218	54676	67622	82061	97928	115142			
	114N3320	114N3321	R		35°C (95°F)	31358	41015	52127	64668	78627	93971	110613			
					38°C (100°F)	29443	38798	49525	61663	75143	89954	106020			
OP-HGZ125D	114N3328	114N3329	Q	MTZ125	32°C (90°F)	42935	55759	70633	87604	106729	127880	151042			
	114N3330	114N3331	R		35°C (95°F)	40605	53051	67459	83884	102370	122812	145191			
					38°C (100°F)	38291	50334	64263	80109	97950	117649	139229			
OP-HGZ160D	114N3338	114N3339	Q	MTZ160	32°C (90°F)	60386	75487	92549	111519	132399	155095	179555			
	114N3340	114N3341	R		35°C (95°F)	57696	72421	89019	107436	127697	149705	173411			
					38°C (100°F)	54943	69265	85380	103261	122878	144208	167133			
					43°C (109°F)	50226	63841	79105	96048	114594	134741	156408			

Códigos eléctricos:

N - Compresor 230V / 1F / 60Hz, ventilador(es) 230V / 1F / 60Hz

Q - Compresor 230V / 3F / 60Hz, ventilador(es) 230V / 1F / 60Hz

R - Compresor 460V / 3F / 60Hz, ventilador(es) 460V / 1F / 60Hz

La capacidad de enfriamiento se presenta para modelos trifásicos. Para los modelos monofásicos presentará diferencia de +1%

El consumo indicado corresponde a una temperatura ambiente de 32°C en la sala de máquinas.

Anexo 15. Certificado de traducción del resumen de español al inglés.

CERTIFICACIÓN

Loja, 30 de enero de 2024

Lcda.

Patricia Beatriz Godoy Medina

Docente del Ministerio de Educación

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del inglés, nivel B2, he realizado la traducción del resumen del trabajo de tesis denominado: **“Diseño de un cuarto frío para la planta de producción de cerveza artesanal en la ciudad de Saraguro comunidad las lagunas”** perteneciente al señor estudiante **José Luis Quizhpe Quizhpe con C.I. 1105175937.**

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor estudiante: José Luis Quizhpe Quizhpe, hacer uso legal del presente según estime conveniente.

Atentamente,



Lcda. Patricia Beatriz Godoy Medina

Cédula: 1102999636

Celular: 0939233209

Docente del Ministerio de Educación Nro. registro Senecyt 1008-02-150253