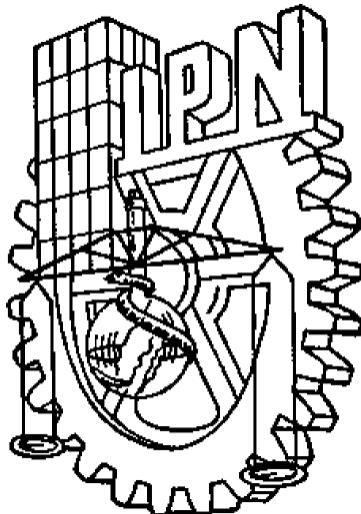




DESARROLLO PROSPECTIVO DE PROYECTO II

Cálculo y diseño de una cámara de refrigeración para la conservación de insulina en Santa Bárbara Azcapotzalco Ciudad de México



Entrega:

Israel Monjaraz Ramírez (9MM1)

2020360966

Directores del proyecto:

Dr. Alejandro Zacarías Santiago
M en C. Cuauhtémoc Jiménez Castillo

Profesores responsables de la asignatura:

Dr. Soto Muciño Luis Enrique
Ing. Nolasco Quintero Jorge Osvaldo

Índice general

Índice general	I
Índice de cuadros	V
Índice de figuras	VI
Índice de Ecuaciones	VII
Planteamiento del problema	VIII
Objetivo general	IX
Objetivos específicos	IX
Delimitación	X
Justificación	XI
Justificación social	XI
Beneficios esperados	XII
CAPÍTULO I. Generalidades del diseño térmico y cámaras de refrigeración de insulina	12
Introducción	13
1.1 Las cámaras de refrigeración a través de la historia	14
1.1.1 Época antigua	14
1.1.2 Grecia y el imperio romano	14
1.1.3 Época media	15
1.1.4 Época contemporánea	15
1.2 El origen de la refrigeración en China y su desarrollo en occidente.	16
1.3 Historia de la insulina y su preservación	17
1.3.1 Medidas preventivas de la insulina	17
1.3.2 Preservación de la insulina	18
1.3.3 Refrigeración de la insulina.	18
1.3.4 Avances tecnológicos en la refrigeración de la insulina	19
CAPÍTULO III. Meta diseño	34
Introducción	35
3.1 Identificación y estructuración de la necesidad detectada	37

3.1.1	Necesidad básica	37
3.1.2	Metodología de identificación de la necesidad	37
3.1.3	Necesidades tecnológicas específicas	37
3.2	Interrogantes del diseño artefactual	38
3.3	Marco teórico	43
3.3.1	Carga del producto	44
3.3.2	Cargas térmicas de climatización	45
	Cargas sensibles	45
	Cargas latentes	48
3.4	Ecodiseño	49
3.5	Restricciones técnicas internas y externas	50
3.5.1	Factor de Seguridad	50
3.5.2	Dimensionamiento y Aislamiento de la Cámara de Refrigeración	51
	Cargas por conducción en paredes y techo	52
	Cargas por infiltración de aire	53
	Cargas del producto a refrigerar	55
3.5.3	Sistema de refrigeración	55
	Selección del evaporador	55
	Selección de motor	56
	Bases teóricas de la refrigeración.	57
	Energía.	57
	Primera ley de la termodinámica	58
	Segunda ley de la termodinámica	60
	Formalismo de Refrigeración	61
3.5.4	Distribución del Aire	62
3.5.5	Dimensionamiento de puerta	63
3.6	Lineamientos de regulación del sistema artefactual (Normativas y regulaciones)	63
3.6.1	Normas oficiales Mexicanas	63
3.6.2	Recomendaciones para Cámaras Frigoríficas	64
3.6.3	Consideraciones Específicas para Cámaras Frigoríficas	64
3.6.4	Normativa y requisitos para cámaras frigoríficas comerciales	64
3.7	Conceptualización De Sistema Artefactual (bosquejo general)	65
3.7.1	Bosquejo general del sistema: cámara frigorífica	66
3.7.2	Diagrama a bloques del proceso de trabajo	66
	Diagrama de flujo	67
3.7.3	Diagrama de funcionamiento general de sistema	69
3.8	Listado de partes de los componentes del sistema	70
3.9	Identificación del conjunto y/o subconjunto por área tecnológica	71
3.10	Descripción de la interacción del elemento componente del sistema.	74
3.11	Proceso del meta diseño de un sistema artefactual tecnológico	74
3.12	Alternativas tecnológicas de los componentes	76
3.13	Selección de los componentes del sistema artefactual tecnológico	77

3.14 Informática para el control del proceso	79
3.15 Conclusión	82
CAPÍTULO IV. Propuesta de diseño	83
Introducción	84
4.1 Marco referencial	85
4.1.1 Normas ISO en planos de ingeniería	85
Norma ISO 5457 (Presentación de dibujos técnicos)	85
Norma ISO 6433:2012 (Documentación técnica del producto)	85
ISO 7573:2008 (Listas de piezas):	86
4.2 Propuesta solución	86
Unidad de refrigeración	87
Evaporador	88
Serpentín del condensador	89
Compresor	89
Válvulas de expansión	90
4.2.1 Esquema de bloques del funcionamiento del sistema	91
4.3 Antecedentes	92
4.3.1 Ubicación	92
4.3.2 Tipo de producto	92
Condiciones del producto a refrigerar.	93
4.3.3 Temperatura del diseño de almacenaje	93
Temperatura de almacenamiento de la Insulina	93
4.3.4 Tipo de empaque para su almacenaje	93
4.3.5 Capacidad de almacenaje	94
4.3.6 Flujo de recepción	94
4.3.7 Planos y diagramas	94
4.3.8 Tipo de aislamiento térmico	96
4.4 Balances de carga térmica	97
4.4.1 Condiciones exteriores de diseño:	97
4.4.2 Aislamiento térmico: Poliuretano expandido	97
4.4.3 Coeficiente de película	97
Coeficiente de transferencia de calor	97
4.4.4 Cálculo térmico de las paredes	98
Cálculo de áreas	98
Transmisión de calor en paredes, pisos y techo	98
Carga térmica por paredes	99
Carga térmica del producto	100
Carga térmica por Infiltración	101
Carga del Motor eléctrico	103
Carga por iluminación	103
4.4.5 Carga térmica total	104
4.5 Selección de equipo	104

4.5.1	Unidad condensadora	104
4.6	Diseño del sistema eléctrico	105
4.6.1	Esquema a bloques del funcionamiento del sistema eléctrico.	106
4.6.2	Protección contra sobrecarga	106
4.6.3	Protección Contra Cortocircuito	107
4.6.4	Diseño del Sistema de Seguridad Eléctrico	108
Metas de la seguridad eléctrica	108	
Elementos del Sistema de Seguridad	108	
4.6.5	Tablero de Control	108
4.6.6	Esquema del sistema eléctrico	109
4.7	Conclusión	110
CAPÍTULO IV. Propuesta de diseño		83
Introducción		111
5.1	Costos Directos	111
5.1.1	Mano de obra	111
5.1.2	Unidad Condensadora	112
5.2	Distribución y Características de la Cámara de Refrigeración	112
5.2.1	Unidad de Refrigeración	112
5.2.2	Consideraciones del Producto	113
5.3	Ubicación Geográfica	113
5.4	Condiciones del Producto a Refrigerar	113
5.5	Comparación de Unidades Condensadoras Thermo King	113
5.5.1	Análisis de las Opciones	114
5.5.2	Preferencia y Elección	114
Glosario		115
Referencias		117
Anexos		122
Planos de Ingeniería		122
6.1	Anexo 1. Vista explosionada de la cámara de refrigeración	122
6.2	Anexo 2. Cuatro vistas de la cámara de refrigeración	123
6.3	Anexo 3. Diagrama eléctrico completo	124
Tablas		125
Imágenes		127

Índice de cuadros

3.1 Características de Humalog Insulina lispro.	38
3.2 Características de Lantus Insulina Glargina	38
3.3 Resumen de información sobre el clima y características del valle de México.	40
3.4 valores de las máximas aportaciones solares a través de vidrio sencillo	47
3.5 Requisitos de ecodiseño para unidades condensadoras	50
3.6 Requisitos de ecodiseño para enfriadoras de proceso de media y baja temperatura	50
3.7 Requisitos de ecodiseño para enfriadoras de proceso de alta temperatura	50
3.8 Estimación del número de veces que se renueva el aire en las cámaras por día	54
3.9 Selección de motores de acuerdo a su carga	57
3.10 Identificación de elementos principales de forma general del sistema.	71
3.11 Conjunto 1: Listado de componentes mecánicos/térmicos del sistema de refrigeración	72
3.12 Conjunto 2: Listado de componentes eléctricos y electrónicos del sistema de refrigeración	72
3.13 Conjunto 3: Listado de componentes de automatización del sistema de refrigeración	73
3.14 Conjunto 4: Listado de componentes ergonómicos del sistema de refrigeración	73
3.15 Identificación de las partes esenciales de los componentes del sistema	75
3.16 Alternativas tecnológicas de los componentes	77
3.17 Selección de los componentes del sistema artefactual tecnológico	78
3.18 Elementos principales seleccionados de forma general del sistema.	81
4.1 Condiciones del producto	93
4.2 Datos de capacidad y dimensiones de los empaques de almacenaje	94
4.3 Conductividad térmica del aislamiento de cámaras frigoríficas	96
4.4 Promedio de cambios de aire en 24 horas para cámaras de almacenaje debido a la apertura de puertas e infiltración	102
4.5 Calor removido en aire de enfriamiento en las condiciones de almacenamiento (BTU por pie cúbico)	102
4.6 Calor disipado por los motores eléctricos	103
5.1 Condiciones del Producto a Refrigerar	113
5.2 Comparación de Unidades Condensadoras Tipo Thermo King	114

Índice de figuras

1.1 Esquema de las partes principales de un pozo de nieve	14
1.2 Aparato de Jacob Perkins en la especificación de su patente de 1834	16
1.3 Fotos de antes y después de un niño con diabetes tipo 1.	17
1.4 Bomba de insulina y set de infusión (A), (B) posición de la Cánula en el tejido Subcutáneo	19
3.1 Envase de insulina Humalog 10ml	39
3.2 Envase de insulina Lantus 10ml	39
3.3 Diagrama de un sistema de refrigeración típico con R-134a	42
3.4 Carga térmica vs humedad relativa	47
3.5 El Grupo CIAT implementa el Ecodiseño en sus sistemas de climatización y refrigeración.	49
3.6 Vista general de la cámara de refrigeración	53
3.7 Funcionamiento del evaporador	56
3.8 Vistas de un sistema de evaporador. Creado en AutoCAD, basado en	56
3.9 Representación de un sistema cerrado con interacciones de calor Q y Trabajo W sin intercambio de masa.	59
3.10 Representación de un sistema abierto con interacciones de calor Q y Trabajo W . Los intercambios de masa son las líneas con la \dot{m} fuera del sistema.	60
3.11 Diagrama esquemático del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.	62
3.12 Vista frontal 3D de la cámara vacía y sus componentes esenciales	66
3.13 Vista lateral derecha de la cámara y sus componentes de enfriamiento	66
3.14 Diagrama de flujo para el proceso de gestión de insulina en una cámara frigorífica.	67
3.15 Diagrama de flujo para el proceso de gestión de insulina en una cámara frigorífica.	68
3.16 Mapa mental para el diseño de una cámara de refrigeración para conservar insulina en la CDMX.	69
3.17 Vista frontal de la cámara.	70
3.18 Elementos componentes principales del sistema de refrigeración a diseñar.	71
3.19 Diseño preliminar final, vista frontal	80
3.20 Vista de la cámara con el diseño final nivel de cableado	80
3.21 Sistema de ventilación	80
3.22 Vista interior de la cámara de refrigeración (Sistema de ventilación)	81
4.1 Vistas de la cámara de refrigeración.	87
4.2 Unidad de refrigeración.	88

4.3	Vistas del evaporador (serpentín).	88
4.4	Vista del serpentín del condensador	89
4.5	Vistas del compresor.	90
4.6	Vista de las válvulas de expansión	90
4.7	Esquema de bloques del funcionamiento del sistema.	91
4.8	Mapa de localización del municipio Santa Bárbara Azcapotzalco en la Ciudad de México.	92
4.9	Vista frontal de la cámara de refrigeración llena de la insulina.	95
4.10	Vistas laterales de la insulina acomodada dentro de la cámara.	95
4.11	Vista superior de la cámara de refrigeración llena.	96
4.12	Pared Compuesta propuesta para la cámara frigorífica	98
4.13	Pared Compuesta propuesta para la cámara frigorífica	99
4.14	Tabla de datos recortado del catálogo de especificaciones Thermo King del anexo 7.	105
4.15	Esquema a bloques del sistema eléctrico.	106
4.16	Disyuntor simbología	107
4.17	Simbología de un fusible	107
4.18	Pantalla del panel de control	109
4.19	Diagrama eléctrico	109

Índice de Ecuaciones

1.	Ecuación 3.22: Calor de enfriamiento	55
2.	Ecuación 3.32: Energía específica de un cuerpo	58
3.	Ecuación 3.6: Carga térmica por iluminación	48

Planteamiento del problema

La *diabetes mellitus*¹ representa sin lugar a dudas uno de los retos más importantes como causa principal de muerte entre mexicanos, esta enfermedad ha aumentado el número de defunciones más de treinta veces durante los últimos 50 años. De tan solo 1500 muertes reportadas en 1955 para el año 2000 ya había incrementado a más de 47 mil muertes. Actualmente INEGI en su comunicado de prensa del 26 de enero de 2024, reportó que la diabetes fue catalogada como la segunda causa de muerte principal en mexicanos en el período enero-junio del año inmediato anterior esto con un total de 55,885 defunciones. (Hernández-Ávila, Gutiérrez, y Reynoso-Noverón, 2013; de Estadística y Geografía, 2024).

Ahora bien, la diabetes es una enfermedad metabólica crónica y actualmente no cuenta con cura. Generalmente la diabetes se presenta cuando el cuerpo no produce las cantidades necesarias de insulina² es por esto que la producción de insulina se ha vuelto indispensable en la industria farmacéutica.

Tanto en la producción y su posterior distribución, la insulina requiere de condiciones térmicas específicas para conservar su eficacia y estabilidad. La temperatura es la condición vital en este fármaco, para así asegurar altos estándares de calidad. La temperatura de refrigeración ideal de la insulina es de 2 a 8 grados Celsius. Es decir, la temperatura de conservación es muy específica puesto que la insulina es de los medicamentos más sensibles a temperaturas elevadas además tampoco es recomendable llegar al punto de congelación.

La Ciudad de México lidera el consumo de insulina a nivel nacional. A través de su plataforma digital Data México la Secretaría de Economía (SE) reportó que la entidad capitalina del país mexicano acumuló un total de \$4.39 millones de dólares en compras internacionales de insulina (DataMéxico, 2022).

En este sentido, la cadena de frío (refrigeración), es una de las actividades, si no la más importante, que los centros de almacenamiento y distribución, en este caso hospitales y/o clínicas públicas y privadas deben realizar para garantizar la seguridad, calidad y eficacia de la insulina, con el fin de proteger a la población enferma.

Un aspecto a tener en cuenta es el aumento progresivo de la temperatura media ambiental en los últimos años, producto de la alta contaminación y degradación del medio ambiente, lo cual puede provocar roturas en las cadenas de frío de la insulina, lo que conlleva a disminuir su eficacia al momento de la aplicación.

La clínica 40 perteneciente al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), es una Unidad de Medicina Familiar (UMF) ubicada en la alcaldía Azcapotzalco, la cual es muy importante para la Ciudad de México además de la misma alcaldía a la que pertenece. A dicha UMF asisten tanto habitantes de Azcapotzalco así como de barrios y colonias aledañas a la

¹Enfermedad metabólica producida por deficiencias en la cantidad o en la utilización de la insulina, lo que produce un exceso de glucosa en la sangre (Real Academia Española, 2001)

²Hormona segregada por los islotes de Langerhans en el páncreas, que regula la cantidad de glucosa existente en la sangre (Real Academia Española, 2023).

aplicación de insulina como parte de la terapia que estos llevan para controlar la diabetes.

Como se ha mencionado el centro de nuestro país es un punto clave y primordial para el almacenamiento y la conservación de la insulina, con la finalidad de controlar y tratar la diabetes en ciudadanos que sufren esta enfermedad, tanto en la zona metropolitana como las entidades federativas colindantes.

Considerando la alta demanda y la limitada capacidad de almacenamiento de insulina en la UMF 40 de la alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México, se propone el cálculo y diseño de una cámara frigorífica para almacenar este medicamento en condiciones térmicas óptimas. Este diseño permitirá garantizar el acceso a la insulina en condiciones ideales de temperatura³ así como de seguridad, asegurando mantener la eficacia con la que ha sido diseñada.

Objetivo general

Diseñar y calcular una cámara de refrigeración para la conservación de insulina ubicada en la Ciudad de México.

Objetivos específicos

- Calcular la potencia, capacidad y carga térmica del sistema.
- Selección de material aislante térmico bajo las especificaciones obtenidas de la cámara.
- Seleccionar los elementos térmicos para el funcionamiento del sistema frigorífico.
- Diseñar el sistema eléctrico de la cámara de refrigeración.
- Determinar la capacidad de almacenamiento en función del espacio disponible en la clínica 40 de Azcapotzalco.
- Generar una cámara de dimensiones óptimas comparadas a las del mercado.

³En 2021 se realizó un estudio por el Programa de Investigación en Cambio Climático (PINCC) el año 2021 se registró como el sexto año más caluroso a nivel global y el cuarto para México del que se tenga registro.

Delimitación

El presente proyecto se centra en el diseño térmico de una cámara frigorífica en específico para la conservación de la hormona de la insulina para la clínica 40 situada en la colonia Santa Barbara perteneciente a la alcaldía Azcapotzalco.

En este contexto, el proyecto abordará: cálculos del diseño, selección de elementos térmicos, capacidad térmica y disposición de los componentes de enfriamiento, sin dejar de lado la selección de materiales adecuados para sistemas de refrigeración tales como equipo de iluminación, puntos de acceso a la cámara, formas de almacenamiento etcétera.

Cabe recalcar que la base geográfica ya definida, ayudará a determinar en forma precisa las condiciones climáticas locales, formas de traslado hacia y fuera de la cámara desde un punto de ubicación cercana a la clínica 40, con la simple finalidad de garantizar seguridad junto a la eficacia del fármaco.

Justificación

El proyecto en cuestión es de gran importancia para apoyar al sistema farmacéutico público del país mexicano a la conservación de la eficacia de la insulina, en específico servirá a ciudadanos de la Ciudad de México o puntualmente a vecinos de la Unidad Médica Familiar 40 ubicada en la alcaldía Azcapotzalco.

Dado que los pacientes de *diabetes mellitus* en México han ido incrementando de forma abismal y desafortunadamente la cifra de muertes también aumenta año tras año, se espera tener un impacto alto en la mejora de la calidad de vida de los pacientes con acceso a la insulina almacenada en la cámara de refrigeración a trabajar, con la finalidad de aportar un esbozo de esfuerzo a la reducción de las cifras ya mencionadas.

Para la estación de verano que es la época más caliente para la Ciudad de México así como para el resto del país, es cuando se espera obtener los mejores resultados en la preservación de la eficacia de la insulina, debido a su sensibilidad por las temperaturas elevadas. Y en su contraparte se espera que para la época de invierno también esta eficacia se mantenga estable por el sistema de enfriamiento controlado, por lo que está de más mencionar que estos resultados se espera que sean muy similares a lo largo del año.

Justificación social

El presente proyecto beneficiará a la clínica 40 que a su vez ayudará a otros centros médicos de la zona a disminuir su aforo en aplicación de insulina obteniendo así una distribución de la población adecuada al personal con el que cada centro cuenta. Así se garantiza un mejor nivel de vida en las personas que sufren diabetes, además de servir de apoyo para mitigar en gran medida la pérdida de eficiencia de la hormona de la insulina, pero que a su vez ayude a una distribución de calidad y oportuna del medicamento con la finalidad de disminuir el número de defunciones que presenta nuestro país al fin de un año.

Justificación práctica

Gracias al uso de un equipo diseñado en condiciones específicas bajo las normas y leyes de diseño de equipo frigorífico vigentes, es posible diseñar una cámara capaz de conservar la insulina contribuyendo así también a la mejora de diseño de equipo médico dirigido al campo de la medicina.

Beneficios esperados

- Preservación de la eficiencia de la insulina: se garantiza un sistema térmico estable en un punto fijo (valor) de temperatura adecuado/determinado para la insulina.
- Mejora en la calidad de vida de enfermos de diabetes: al usar la hormona de la insulina en condiciones óptimas se espera que el paciente mejore su salud.
- Mayor seguridad de medicación: la preservación de la insulina avala seguridad en el fármaco siendo así de ayuda a los beneficiados.



Capítulo I

Antecedentes históricos

Generalidades del diseño térmico y cámaras de refrigeración de insulina

Introducción

La refrigeración no es más que el proceso en el que se elimina el calor contenido en un espacio cerrado para excluirlo a una temperatura más alta, es decir técnicamente se está trasladando calor de una temperatura relativamente baja a una más alta (Hundy, Trott, y Welch, 1984).

En países industrializados la refrigeración tradicionalmente se ha empleado para preservar alimentos a temperaturas bajas, lo que impide la proliferación de bacterias, levaduras y moho que pueden causar su deterioro. Esto posibilita la congelación de muchos productos perecederos, lo que permite su conservación durante largos períodos, incluso meses o años, sin una considerable pérdida de valor nutricional, sabor o alteración en su apariencia (Britannica, 2023).

De acuerdo con Khurana y Gupta, (2019), la insulina es una hormona endógena que se produce de manera natural por el páncreas. La función principal radica en facilitar la absorción y utilización de la glucosa por parte de las células del cuerpo. Esta glucosa sirve como fuente de energía para las diversas funciones celulares en el cuerpo humano. Las personas con *diabetes mellitus* (DM) experimentan una disminución en la capacidad para absorber y utilizar la glucosa en la sangre, lo que resulta en un aumento de los niveles de glucosa en la misma. En el caso de la diabetes tipo 1, el páncreas no produce suficiente insulina, lo que requiere tratamiento con terapia de insulina. Por otro lado, en la diabetes tipo 2, los pacientes producen insulina, pero las células de su cuerpo no responden adecuadamente a ella, lo que se conoce como resistencia a la insulina. Aunque la insulina se utiliza comúnmente en el tratamiento de la diabetes tipo 1, también puede ser recetada para pacientes con diabetes tipo 2 para superar la resistencia a la insulina.

1.1. Las cámaras de refrigeración a través de la historia

La práctica de la refrigeración, a menudo asociada con tecnología moderna, tiene sus raíces en tiempos antiguos, donde la preservación de alimentos era crucial. Desde la antigüedad, los seres humanos han recurrido a métodos naturales, como almacenar alimentos en cuevas frescas o utilizando hielo de montañas para mantenerlos frescos, vea la figura 1.1 de un ejemplo situado la Mancomunidad Turística de Sierra Espuña. Este enfoque permitía tener reservas alimenticias disponibles en tiempos de necesidad. Además, desde el siglo XVI, se ha empleado la técnica de mezclar hielo con sal para lograr temperaturas por debajo de su punto de fusión, destacando la continua búsqueda de soluciones para la conservación de alimentos en condiciones adversas. (UPV, 2020)

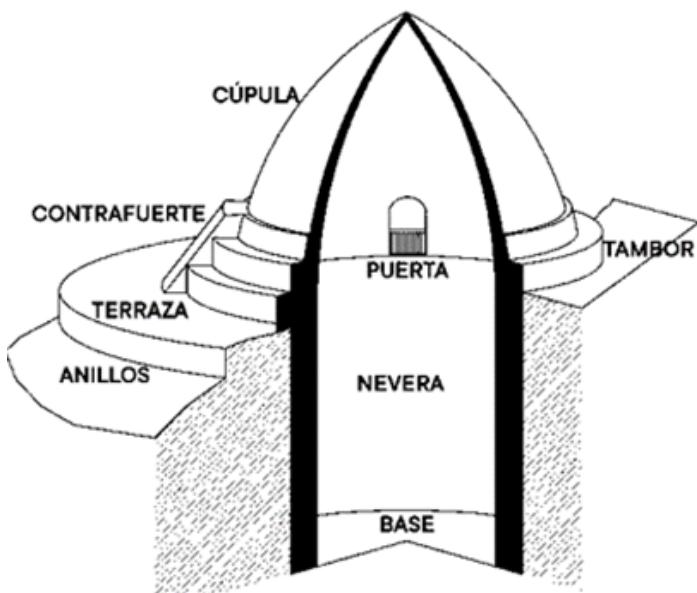


Figura 1.1: Esquema de las partes principales de un pozo de nieve
Fuente: (Ecoproyecta, 2024)

1.1.1. Época antigua

Durante siglos, se ha tenido conocimiento de que la evaporación del agua genera una sensación de frescor. En épocas antiguas, aunque no se buscaba comprender el fenómeno, se observaba que cualquier parte del cuerpo mojada se enfriaba al secarse al aire. Ya en el siglo II, en Egipto se empleaba la evaporación para enfriar jarras de agua, mientras que en la antigua India se utilizaba para la producción de hielo (Neuberger, 1930).

1.1.2. Grecia y el imperio romano

En la antigua Grecia e Imperio Romano, se desarrollaron ingeniosos métodos de refrigeración que se basaban en el aprovechamiento de la nieve y el hielo. Griegos y romanos contaban con una comprensión rudimentaria de cómo preservar alimentos en climas cálidos, utilizando nieve de montañas y áreas frías. Uno de estos métodos implicaba excavar hoyos en la tierra y forrarlos con aislantes naturales como paja y ramas, donde

se almacenaba cuidadosamente nieve o hielo recolectados en invierno, manteniendo una temperatura baja y conservando alimentos perecederos como carnes y pescados durante las estaciones más calurosas del año.

Esta práctica se difundió por el Mediterráneo y otras regiones donde las altas temperaturas planteaban desafíos para la conservación de alimentos, convirtiéndose en una técnica esencial para comunidades rurales y empleada ampliamente hasta el siglo XX (JR, 2013).

1.1.3. Época media

Durante la Edad Media, surgieron técnicas innovadoras de refrigeración en la India del siglo IV y en la Península Ibérica bajo el gobierno musulmán, donde se utilizaban procesos químicos como la disolución de nitrato sódico y nitrato de potasio en agua para bajar la temperatura, representando un avance significativo en la tecnología de refrigeración. En el siglo XVI, Blas Villafranca, un médico español en Roma, experimentó con la refrigeración de líquidos como agua y vino mediante mezclas refrigerantes. Sin embargo, el descubrimiento más impactante ocurrió en 1607, cuando se descubrió que una combinación de agua y sal tenía la capacidad de congelar el agua, revolucionando la producción de hielo artificial y transformando la conservación de alimentos y la refrigeración en una época donde las altas temperaturas presentaban desafíos continuos.

Estos avances en la refrigeración artificial durante la Edad Media marcaron un hito en la evolución de la tecnología de conservación de alimentos y bebidas en condiciones climáticas adversas (Bernad, 2023).

1.1.4. Época contemporánea

Según estudios reportados de Goosman en el año 1924, los primeros intentos de crear refrigeración mecánica se basaron en los efectos refrigerantes de la evaporación del agua. En 1755, William Cullen, un médico escocés, logró obtener temperaturas lo suficientemente bajas como para producir hielo. Esto lo logró al reducir la presión del agua en un recipiente sellado mediante una bomba de aire. Bajo una presión muy pequeña, el agua se evaporaba o hervía a una temperatura baja, extrayendo calor del resto del agua y provocando la formación de hielo. Desde Cullen, numerosos ingenieros y científicos han creado una variedad de inventos para comprender los principios básicos de la refrigeración mecánica (Dinçer y Kanoglu, 2010).

Según indican (Critchell y Raymond, 1912), en el año 1834, Jacob Perkins, un ciudadano estadounidense viviendo en Inglaterra, diseñó y obtuvo la patente de una máquina que empleaba compresión de vapor, que incluía un compresor, un condensador, un evaporador y un grifo situado entre el condensador y el evaporador. A continuación en la figura 1.2 se muestra el aparato diseñado por Perkins en donde se aprecia que el refrigerante (éter u otro fluido volátil) hierva en el evaporador B tomando calor del agua circundante en el recipiente A. La bomba C extrae el vapor y lo comprime a una presión más alta a la que puede condensarse a líquidos en los tubos D, cediendo calor al agua en el recipiente E. El líquido

condensado fluye a través de la válvula cargada de peso H, que mantiene la diferencia de presión entre el condensador y el evaporador. La pequeña bomba situada encima de H se utiliza para cargar el aparato con refrigerante.

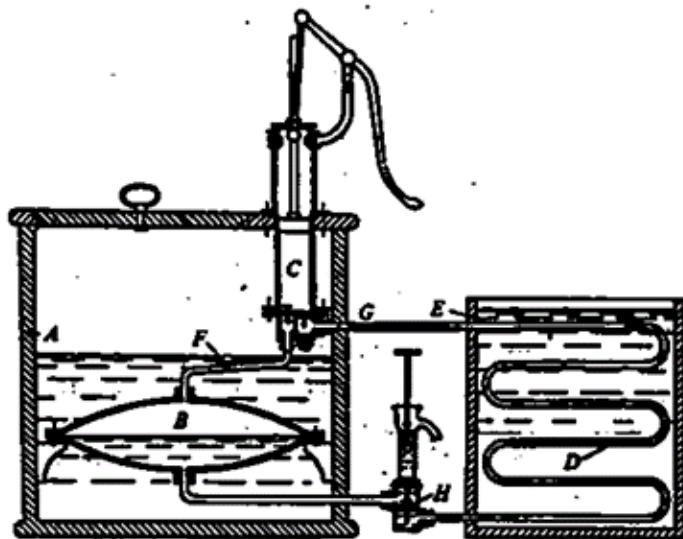


Figura 1.2: Aparato de Jacob Perkins en la especificación de su patente de 1834
Fuente: (Vidyaputra, s.f.).

Durante las tres décadas posteriores a 1850, la creciente demanda impulsó una ola de innovación y progreso. Científicos destacados como Faraday y Thilorier introdujeron nuevas sustancias, como el amoníaco y el dióxido de carbono, que demostraron ser más eficaces que el agua y el éter, incluso pudiendo ser licuadas. Este avance fue respaldado por un sólido fundamento teórico proporcionado por Rumford y Davy, quienes habían esclarecido la naturaleza del calor, y por científicos como Kelvin, Joule y Rankine, quienes ampliaron el trabajo iniciado por Sadi Carnot en la formulación de la ciencia de la termodinámica, sentando así las bases para la refrigeración mecánica.

1.2. El origen de la refrigeración en China y su desarrollo en occidente.

La historia de la refrigeración se remonta a la antigua China, donde se descubrió por primera vez el potencial de la salmuera para enfriar alimentos. En el siglo XIV, Marco Polo trajo consigo desde China a Occidente el conocimiento sobre la fabricación de sorbetes de leche, que se cree se basaba en el principio de la evaporación de la salmuera. Los chinos, que utilizaban la salmuera para preservar alimentos, probablemente observaron sus propiedades refrigerantes (Curiosfera, 2023).

En torno al año 1660, el italiano Zimara propuso utilizar una combinación de nieve y salitre como agente refrigerante. Posteriormente, de forma empírica, se observó que la rápida evaporación de la salmuera caliente provocaba la absorción de calor. Este proceso, influenciado por las ideas de Zimara y por el uso de alcarrazas turcas (recipientes de barro poroso que mantenían el agua fresca mediante la evaporación), sentó las bases en el siglo

XVII para los primeros intentos de refrigeración controlada en Occidente. Así, la historia de la refrigeración comenzó en China y gradualmente se difundió por todo el mundo, influyendo en el desarrollo de técnicas y tecnologías de conservación de alimentos inicialmente, hoy en día estas aplicaciones son extensas (Atecyr, 2020)

1.3. Historia de la insulina y su preservación

El 12 de diciembre de 1921 Banting y Best descubrieron la insulina, que nació como una posible esperanza de cura. Al año siguiente, Leonard Thompson, un niño de 14 años con diabetes severa, fue el primer paciente al que se le aplicó una inyección de extracto pancreático vacuno (Vecchio et.al, 2018).

De acuerdo a Buse JB, Davies MJ, Frier BM, et al 100 years on: the impact of the discovery of insulin (2021), hasta comienzos del siglo pasado la diabetes representaba un trastorno devastador, especialmente cuando se diagnosticaba en la infancia, ya que solía resultar mortal. Por lo tanto, el exitoso descubrimiento y extracción de insulina a partir del páncreas en 1921 marcó un avance maravilloso que transformó radicalmente la vida de quienes padecían esta enfermedad. En la figura 1.3 se aprecia a un niño el cual era un paciente de diabetes tipo 1, antes de ser medicado de insulina y obtener los beneficios de la hormona dejando de lado la rigurosa ingesta de calorías en los centros médicos de aquellos tiempos.



Figura 1.3: Fotos de antes y después de un niño con diabetes tipo 1.
Fuente: (NovoNordisk, 2021)

1.3.1. Medidas preventivas de la insulina

La insulina, al ser una proteína, puede sufrir cambios y perder su eficacia. Es especialmente vulnerable a la precipitación causada por alteraciones en el pH y la temperatura. Estos cambios físico químicos pueden provocar su degradación tanto física (cambios en su estado físico sin alterar su estructura covalente) como química (alteraciones en su estructura covalente). Por ello, es crucial almacenar los viales de insulina sin abrir en un ambiente

controlado entre 2 y 8°C, protegidos de la luz (Khurana y Gupta, 2019).

Los productos de insulina, ya sea en frascos o cartuchos proporcionados por los fabricantes, pueden mantenerse sin refrigeración a temperaturas entre 15 °C y 30 °C durante un máximo de 28 días y seguir siendo efectivos, tanto si están abiertos como si no. Sin embargo, cualquier insulina que haya sido modificada para diluirse o que se haya extraído del envase original del fabricante debe desecharse en un plazo de dos semanas. Cuanto más prolongada sea la exposición a estas temperaturas, menor será su eficacia, lo que puede conducir a una pérdida de control de la glucosa en la sangre con el tiempo.

1.3.2. Preservación de la insulina

Las primeras formas de almacenamiento y preservación de la insulina para mantener estable su capacidad y eficacia fueron a través de jeringas. Las primeras jeringas de vidrio fabricadas por Becton Dickinson eran pesadas y frágiles, con agujas largas y gruesas que requerían esterilización mediante ebullición antes de ser reutilizadas. En 1954, se introdujo la primera jeringa desechable de vidrio, seguida por una versión de plástico en 1955. Estas jeringas, estaban equipadas con agujas integradas o desechables hacían que las inyecciones fueran menos dolorosas, pero aún presentaban problemas de dosificación. La jeringa de insulina U100, hecha de un plástico especial con unidades marcadas, mejoró la precisión y permitió una reutilización segura. Avances posteriores incluyeron agujas de calibre más corto para minimizar el dolor, aunque persistieron problemas de precisión en la dosificación (Buse, Davies, Frier, y cols., 2021).

1.3.3. Refrigeración de la insulina.

Como indica en su artículo Smith, J. (2020), la modernización de la refrigeración de la insulina ha sido un proceso gradual que ha ido evolucionando en paralelo con los avances tecnológicos y científicos. Inicialmente, la conservación de la insulina dependía de métodos básicos como el almacenamiento en lugares frescos o en recipientes con hielo. Sin embargo, a medida que avanzaba el tiempo, se produjeron mejoras significativas en este campo. Con el desarrollo de la tecnología en la década de 1920, se introdujeron los primeros refrigeradores domésticos, lo que permitió un almacenamiento más seguro en los hogares⁴.

El autor también describe que estos primeros modelos eran bastante simples y proporcionaban un ambiente fresco, pero carecían de un control preciso de la temperatura. A lo largo del siglo XX, con el avance tecnológico, se diseñaron refrigeradores más sofisticados con controles de temperatura precisos, específicamente adaptados para almacenar medicamentos sensibles como la insulina. En las últimas décadas, se han desarrollado refrigeradores portátiles y dispositivos de almacenamiento compactos, lo que ha proporcionado a los pacientes con diabetes una forma conveniente y segura de transportar su insulina. Estos dispositivos suelen estar equipados con tecnología avanzada

⁴A principios del siglo XIX, los inventores estadounidenses Oliver Evans, Jacob Perkins y John Gorrie desarrollaron las primeras versiones del frigorífico moderno

de control de temperatura y funciones de monitoreo para garantizar la integridad del medicamento.

1.3.4. Avances tecnológicos en la refrigeración de la insulina

Durante la última década, ha habido avances significativos en la tecnología utilizada para tratar la diabetes. Hoy en día disponemos de dispositivos de infusión continua de insulina subcutánea o bombas de insulina que intentan imitar la secreción fisiológica del páncreas, así como de monitorización continua de la glucosa que proporciona información de la glucosa intersticial las 24 horas del día. Los modelos más modernos combinan ambas tecnologías en un solo dispositivo e incluso son capaces de detener la infusión de insulina en caso de hipoglucemia (Apablaza et al., 2016).

De acuerdo a una modificación de la imagen dada por MedlinePlus, 2024, en Estados Unidos a través de su sitio web oficial, la imagen 1.4 que se muestra a continuación en la cual se observa cómo la bomba suministra insulina de manera continua. En su interior, dispone de un depósito que contiene un análogo de insulina rápida (insulina ultrarrápida), el cual se conecta a un catéter encargado de transferirla al tejido subcutáneo mediante una cánula.

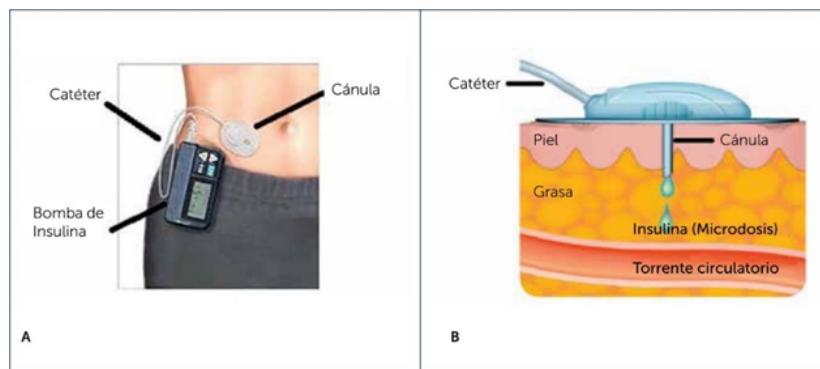


Figura 1.4: Bomba de insulina y set de infusión (A), (B) posición de la Cánula en el tejido Subcutáneo

Fuente:(Apablaza, Soto, Román, y Codner, 2016)

Capítulo III. Meta diseño

Diseño preliminar del proyecto



Introducción

El diseño óptimo de frigoríficos usados en la industria para enfriar y congelar productos cada vez más requieren urgentemente de, (i) información técnica de los diversos sistemas existentes, de sus componentes así como de sus aspectos técnicos y operativos del mismo equipo; (ii) memorias de cálculos de análisis energético y exergético para optimizar el diseño del sistema; (iii) uso de las metodologías de refrigeración correctas, (iv) análisis del rendimiento de los componentes; (v) análisis de datos de refrigeración para el diseño de estos mismos sistemas existentes (Dincer y Kanoglu, 2010).

Derivado de lo anterior, en este capítulo se abordan los fundamentos del diseño óptimo de una cámara de refrigeración para el almacenamiento de insulina, considerada como una parte crítica en la cadena de suministro de medicamentos sensibles a la temperatura. Se hace hincapié en la necesidad de un enfoque multidisciplinario y colaborativo para abordar los desafíos relacionados con el almacenamiento de insulina y se destacan las oportunidades futuras para la mejora continua y la innovación en este campo crucial de la atención médica.

Comprender los principios fundamentales de la preservación de la eficiencia y el diseño de cámaras frigoríficas en ingeniería es esencial para garantizar la integridad y la eficacia de la insulina, un medicamento vital para millones de personas con diabetes en nuestro país.

En el desarrollo de este capítulo, se presenta una estructura clara y detallada para abordar la complejidad de esta tarea. En primer lugar, se analiza exhaustivamente la problemática específica que se busca resolver con este proyecto de ingeniería, centrada en la falta de equipo frigorífico para insulina en la Unidad Médica Familiar 40, ubicada en Azcapotzalco, Ciudad de México. Esta carencia no solo representa un desafío logístico, sino que también compromete la calidad y la eficacia del tratamiento para los pacientes que dependen de este medicamento para controlar su enfermedad (la diabetes).

A continuación, se ahonda en las herramientas del diseño, explorando aspectos técnicos clave para comprender mejor el problema y la solución propuesta. Este análisis incluye la evaluación de requisitos de temperatura, capacidad de almacenamiento, eficiencia energética y otros aspectos relevantes para el diseño y funcionamiento óptimo de la cámara de refrigeración.

Luego, se detallan postulados o marcos de referencia relevantes para la solución de la problemática. Desde el manejo adecuado y seguro de la insulina hasta conceptos teóricos avanzados en el campo de la refrigeración, esta sección proporciona un contexto teórico sólido para informar el diseño y la implementación de la solución.

El cuarto apartado se centra en el ecodiseño, destacando la importancia de considerar criterios de eficiencia y sostenibilidad ambiental en todas las etapas del proceso de diseño y fabricación. Al abordar estos aspectos desde el inicio del proyecto, se busca minimizar el impacto ambiental del sistema de refrigeración y promover prácticas responsables en el uso de recursos naturales.

Seguidamente, se presentan las restricciones técnicas, tanto internas como externas, que

deben tenerse en cuenta en soluciones de ingeniería de este tipo. Desde la confiabilidad y seguridad del sistema hasta las políticas y regulaciones que rigen su implementación, estas restricciones juegan un papel crucial en la viabilidad y el éxito del proyecto.

En el sexto apartado, se examinan las regulaciones normativas y legales relacionadas con el diseño de ingeniería y el manejo de la insulina como medicamento destinado al uso de pacientes con diabetes. Cumplir con estas regulaciones es fundamental para garantizar la calidad y seguridad del sistema de refrigeración, así como para mantener la integridad de los medicamentos almacenados.

Posteriormente, se proporciona un bosquejo general del proyecto y su listado de componentes, detallando los elementos clave que formarán parte de la solución final. Esto incluye desde los componentes mecánicos y eléctricos hasta los sistemas de monitoreo y control que garantizarán el funcionamiento eficiente y confiable de la cámara de refrigeración.

Cabe mencionar que gran parte del trabajo desarrollado en este capítulo se logró de manera eficiente por la ayuda otorgada por el Coordinador de Farmacia Familiar en la Unidad Médica Familiar 40, el señor David Ledesma.

Finalmente, se presentan las conclusiones, resumiendo los hallazgos clave y destacando la importancia del desarrollo de este capítulo en el contexto más amplio del proyecto.

3.1. Identificación y estructuración de la necesidad detectada

3.1.1. Necesidad básica

Los requerimientos son inherentes a cualquier entidad biológica y se refieren a una percepción generada por la noción de carencia, ya sea en términos materiales, físicos o emocionales. Constituyen uno de los pilares esenciales de la existencia, no solo del ser humano sino también de otras formas de vida. Es la exigencia la que impulsa a los organismos a emprender acciones en búsqueda de metas que les permitan cubrir aquello que consideran necesario. En este sentido, una carencia tecnológica se describe como la discrepancia entre la tecnología existente y la necesaria para potenciar el rendimiento y la competitividad del sector industrial (Marrelli, 2011; Gobierno de México, 2018).

En el contexto del sistema de refrigeración para la conservación de insulina, la necesidad tecnológica se centra en la falta de equipos frigoríficos adecuados para garantizar la estabilidad y eficacia de la insulina almacenada en la Unidad Médica Familiar 40 (U.M.F 40) en Azcapotzalco, Ciudad de México.

3.1.2. Metodología de identificación de la necesidad

La identificación de las necesidades tecnológicas se llevó a cabo mediante una entrevista personal con Ledesma D. Coordinador de Farmacia Familiar en la U.M.F 40 el día 03 de mayo de 2024 en las instalaciones de dicha unidad. En esta visita se recabó información de manera exhaustiva de la situación actual en la unidad, así como a través de un par de consultas con profesionales de la salud dentro de esta misma unidad. Se realizaron visitas al lugar para evaluar las condiciones de almacenamiento de insulina y se recopiló información sobre los problemas y desafíos existentes.

3.1.3. Necesidades tecnológicas específicas

De acuerdo a la entrevista ya mencionada y las visitas realizadas en más de una ocasión, se enlistan algunas de las carencias tecnológicas que se han detectado al interior de la farmacia de medicina familiar y en la red de frío de la U.M.F 40.

1. Infraestructura: Falta de equipos frigoríficos adecuados y mantenidos para mantener la temperatura requerida para la conservación de insulina. "Se cuenta con una sola unidad de refrigeración para insulina con más de 20 años operando".
2. Conocimiento: Escasez de información o capacitación sobre el diseño y operación de sistemas de refrigeración para la conservación de insulina. "Solo dos personas aquí entendemos qué pasa internamente con la cámara cuando deja de funcionar".
3. Metodologías de trabajo: Falta de procedimientos estandarizados para la gestión y distribución de insulina en unidades médicas- "La logística realmente está en otros hospitales, entonces muchas veces el personal actúa según sus criterios o conocimientos". (Ledesma, 2024)
4. Herramientas: Carencia de tecnología de refrigeración específicamente diseñada y adaptada para las necesidades de conservación de insulina en entornos médicos.

Como ya se mencionó, el equipo con el que se cuenta es demasiado obsoleto".
(Ledesma, 2024)

3.2. Interrogantes del diseño artefactual

Tener un compendio de preguntas en base al diseño que se desee realizar, sirven como herramientas fundamentales para comprender, evaluar y mejorar el proceso de creación de equipos de ingeniería con propósitos específicos. Estas preguntas también servirán de guía en el camino del diseño.

1. *¿Cuál es el producto y/o artículo que se va a manejar?*

De acuerdo a la información recabada en la visita a la unidad 40 del IMSS se sabe que a los pacientes diabéticos se les proporciona dos tipos de insulina para su tratamiento, **Humalog Insulina Lispro** Figura 3.1 e **Insulina Lantus** Figura 3.2, este par de medicamentos se suministran directamente por parte del gobierno por lo que la logística del proceso en la cadena de suministro está debidamente regulada.

Nota: 100 u/ml es el equivalente para 100 unidades/mililitros por solución inyectable en un vial para ambos productos. Como se aprecia en las cuadros de información. (Vea Cuadros 3.1 y 3.2) las magnitudes de medida y envasado son muy similares en ambos medicamentos de distinta marca, pero se consideran para cuestiones cálculos de capacidad en el siguiente capítulo.

Cuadro 3.1: Características de Humalog Insulina lispro.

(CIMA Agencia Española, 2015)

Característica	Humalog Insulina lispro (100 u/ml)
Peso	100g
Tipo de envasado	Caja + frasco de vidrio (12cm × 3.5cm)
Rendimiento	Alta
Precisión	(>95 %)
Refrigeración	Entre 2°C y 8°C
Tipo de producto	Líquido en frasco de vidrio ambar DIN18

Cuadro 3.2: Características de Lantus Insulina Glargina

(CIMA Agencia Española, 2006)

Característica	Lantus® Insulina
Peso	100g
Tipo de envasado	Caja + frasco de vidrio (12cm × 3.5cm)
Rendimiento	Alta
Precisión	(>95 %)
Refrigeración	Entre 2°C y 8°C
Tipo de producto	Líquido en frasco ampula



Figura 3.1: Envase de insulina Humalog 10ml

Fuente: (Farmacias San Pablo, 2024)



Figura 3.2: Envase de insulina Lantus 10ml

Fuente: (Farmacias del Ahorro, 2024)

2. ¿Qué tipo de producción se va a realizar?

El principal motivo de la cámara frigorífica será la **conservación de la insulina**, específicamente los dos tipos de insulina ya descritos. También el proceso de conservación implica actividades como las que se mencionan en la pregunta 5. Estas actividades de producción se centran en asegurar que la insulina se mantenga en condiciones óptimas para su uso seguro y efectivo en el tratamiento de la diabetes.

3. ¿Qué tipo de línea de producción?

En el caso de la conservación de insulina, se usará **una línea de producción específica** y dedicada exclusivamente a este medicamento. Es fundamental evitar la mezcla de insulina con otros productos farmacéuticos debido a razones de seguridad y eficacia. La insulina es un medicamento vital para el tratamiento de la diabetes, y cualquier contaminación cruzada o confusión en su distribución puede tener consecuencias graves para la salud de los pacientes. Además, el manejo de múltiples productos en la misma línea de producción aumenta el riesgo de errores humanos y puede comprometer la calidad y pureza del medicamento. Por lo tanto, se recomienda encarecidamente que la línea de producción de insulina se mantenga separada y dedicada exclusivamente a este medicamento, garantizando así la seguridad y eficacia de su producción y distribución. (Ledesma, 2024)

4. ¿Qué condiciones ambientales se requieren?

Dado que el equipo frigorífico está destinado para ubicarse en la U.M.F 40, se tomarán variables metereológicas de la Ciudad de México espacialmente ubicándose en las coordenadas de la alcaldía Azcapotzalco, puesto que en (Cressie, 1993) se menciona que las variables medidas espacialmente tienen dependencia y correlación es válido tomar datos medidos a nivel general de la CDMX. (Vea Cuadro 3.3)

Cuadro 3.3: Resumen de información sobre el clima y características del valle de México.

(Clima. Distrito Federal, s.f.)

Información	Detalle
Clima	<ul style="list-style-type: none"> ■ Templado subhúmedo: 87 % ■ Seco y semiseco: 7 % ■ Templado húmedo: 6 %
Temperatura media anual	16 °C
Temperaturas extremas	<ul style="list-style-type: none"> ■ Más alta (>25 °C): marzo a mayo ■ Más baja (alrededor de 5 °C): enero
Precipitación total anual	<ul style="list-style-type: none"> ■ Región seca: 600 mm ■ Parte templada húmeda: 1 200 mm
Ecosistemas	Avance de la mancha urbana ha puesto en peligro todos los ecosistemas, especialmente los lagos.
Uso de suelo	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zona urbana: mayor parte del territorio ■ Zonas agrícolas: principalmente al sur y sureste, con cultivos de maíz, frijol, avena, nopal, hortalizas y floricultura.

5. ¿Cuál es el proceso de trabajo que tiene que realizar el sistema artefactual?

- Recepción: Ingreso de la insulina como penúltimo punto de la cadena de suministro descrita en la figura 2.15 para poder ser entregada al paciente cuando lo solite.
- Pre-enfriamiento: Reducimos la temperatura del medicamento y mantenemos en un valor fijo de temperatura, la cual se decide en cuestión del consumo energético de la zona.
- Almacenar: Mantener la insulina a la temperatura adecuada (2°C a 8°C) para garantizar su estabilidad y eficacia .
- Conservar: Proteger la insulina de condiciones ambientales adversas que puedan afectar su calidad, en nuestro caso los sismos (temblores).
- Supervisar: Monitorizar constantemente la temperatura y otras condiciones dentro de la cámara para asegurar que se mantengan dentro de los rangos aceptables, se adjuntará un sensor de temperatura para que cuando la temperatura en el sistema comience a subir este baje la temperatura a 2°C nuevamente.
- Registrar: Mantener registros precisos de los niveles de inventario, fechas de vencimiento y otros datos relevantes para el seguimiento y la trazabilidad del producto. Actividades destinadas al personal para control interno y para temas

de mantenimiento del equipo.

- Organizar: Distribuir y organizar la insulina de manera eficiente dentro de la cámara para facilitar su acceso y manejo. Se dispondrán de divisiones horizontales comunes para poder diferenciar ambas marcas de insulina.

6. ¿Cuántas etapas de trabajo tiene que realizar el sistema artefactual?

Según Cengel(2009), el ciclo real de refrigeración por compresión consta de los siguientes procesos vea Figura la ??: evaporación, compresión, condensación y expansión, por lo cual siguiendo este ciclo se destinarán las etapas de trabajo que va a realizar nuestro sistema. Entonces el diseño realizará **6 etapas** para llevar a cabo la refrigeración y conservación de la insulina.

- i) Inicio del Sistema: Cuando se enciende el sistema de refrigeración, el compresor es el primer componente en activarse. El compresor es el motor del sistema y su función es comprimir el refrigerante gaseoso.
- ii) Compresión del Refrigerante: El compresor aumenta la presión y la temperatura del refrigerante gaseoso. Este proceso demanda una cantidad considerable de energía, especialmente para superar la resistencia de la compresión.
- iii) Transferencia de Calor en el Condensador: El refrigerante comprimido se dirige hacia el condensador, donde cede calor al entorno circundante. El condensador, un intercambiador de calor, convierte el refrigerante gaseoso en líquido al disipar el calor hacia el exterior.
- iv) Expansión del Refrigerante en la Válvula de Expansión: Despues de enfriarse en el condensador, el refrigerante pasa a través de la válvula de expansión. Esta válvula reduce la presión del refrigerante y lo dirige hacia un conducto más estrecho, lo que resulta en una rápida disminución de la temperatura.
- v) Absorción de Calor en el Evaporador: El refrigerante líquido y frío ingresa al evaporador, donde absorbe el calor del entorno interior de la cámara de refrigeración. Durante este proceso, el refrigerante se evapora y extrae calor del ambiente, manteniendo así una temperatura baja en el interior de la cámara.
- vi) Retorno del Refrigerante al Compresor: Una vez que el refrigerante ha absorbido el calor, regresa al compresor en forma de vapor para reiniciar el ciclo de refrigeración.

Durante todo este proceso, diversos componentes del sistema, como los tubos y conexiones, el aceite lubricante, los controladores y sensores, y el aislamiento, colaboran para garantizar un funcionamiento eficiente y confiable. (Inditer, 2023; Cengel, 2009)

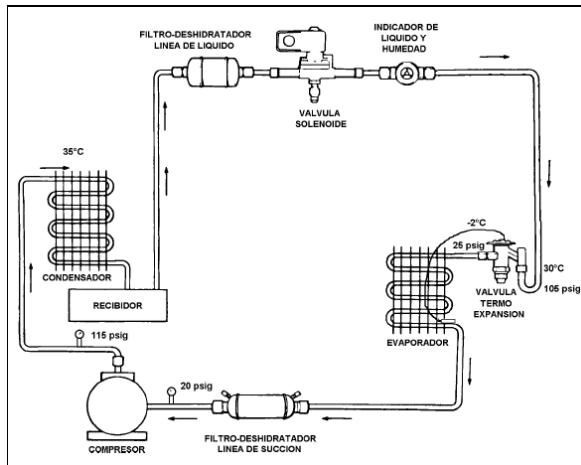


Figura 3.3: Diagrama de un sistema de refrigeración típico con R-134a

Fuente: (Agustín y Vanegas, 2011)

7. *¿El diseño del sistema artefactual puede ser modular y flexible?* **Sí** De acuerdo con los sitios web de las empresas Hogartecnocasa y Inditer un sistema modular es aquél que puede ser manipulado mediante un ordenador o software especializado y que en sí mismo puede ser dividido en sistemas más pequeños, en los cimientos de este proyecto es un aspecto que no se considerará como parte del estudio por las premuras del tiempo, sin embargo es algo que sin duda puede considerarse. No obstante el proyecto en cuestión sí que es flexible por sus dimensiones que serán designadas bajo un análisis profundo en el siguiente capítulo.
8. *¿Se puede aplicar la inteligencia artificial y la robotización en el sistema?*
Sí, es factible aplicar tanto la inteligencia artificial (IA) como la robotización en un sistema de refrigeración destinado a la preservación de la insulina. Estas tecnologías pueden aportar una serie de ventajas significativas en términos de eficiencia, automatización y optimización del rendimiento del sistema. En Madriz-Ramírez, Solano-Núñez, y Rodríguez-Calvo, et. al. (2022), se ha trabajado en un diseño especializado en refrigeración que resulta novedosa y práctica, este es un ejemplo práctico de como técnicas modernas pueden coadyuvar a mejorar la eficiencia y optimización de proyectos en ingeniería que a lo largo de los años han ido adaptándose también y como era de esperarse la ingeniería mecánica aplicada a los sistemas de refrigeración no serían la excepción.
9. *¿Cómo podemos aprovechar las nuevas fuentes de datos?*
El gran campo que se ha creado entorno a los datos era conocida como "big data" por los investigadores sin lugar a dudas puede ser de gran utilidad para el diseño óptimo de sistemas de refrigeración ya que de bases de datos históricas podemos determinar el tiempo de fallo de componentes o tiempos de vida útil, así como de ellas se pueden sacar ventajas para la predicción de la falla de componentes, la monitorización en tiempo real también puede ser una herramienta novedosa aplicada al campo de estudio que concierne este proyecto. Finalmente en el siguiente artículo hecho por

investigadores de China muestran estudios de lo potenciales que pueden ser estas nuevas bases de datos y modelos en monitorización de temperaturas en distintas temporadas del año, vea (Liu, Sun, Hao, y Liu, 2021) para más detalles.

10. Conexión a un HOST (computadoras, tabletas móviles, portátiles)

De igual manera, la conexión a estos dispositivos que cada día son más frecuentes en el uso cotidiano sin dudarlo ayudarían mucho a los sistemas de vigilancia remotas en tiempo real del sistema de refrigeración, por ejemplo en tiempos de epidemia en donde el contacto con material de salud suele ser muy delicado para evitar contagios se pueden aplicar a la regulación de la temperatura y de humedad desde algún dispositivo móvil.

11. ¿Se puede aplicar el desmantelamiento y reciclado del sistema al ciclo de uso? Esta es una de las problemáticas principales que se siguen trabajando en los diseños de ingeniería en el campo farmaceútico, debido a que por normas oficiales los instrumentos y equipos de trabajo destinados a la salud pública tienen estrictamente prohibido la reutilización en actividades que no sean internas de la instancia de gobierno (clínica, UMF, hospitales, etc), sin embargo es claro que para fines del mismo equipo con autorización de expertos en área de salud y diseño farmaceútico estos componentes o equipos pueden ser reutilizados en un equipo nuevo o averiado.

3.3. Marco teórico

La insulina, al igual que otros fármacos basados en hormonas peptídicas, está sujeta a la influencia de las condiciones ambientales, lo cual impacta su estabilidad y eficacia terapéutica. A pesar de la omnipresencia de la insulina en múltiples etapas de la cadena de suministro y su uso diario por personas con diabetes, existe una notable falta de investigación sobre cómo varía su potencia durante la cadena de frío y hasta el momento de su administración.

Para garantizar la calidad y eficacia de la insulina, es fundamental comprender cómo el calor y el frío afectan su estabilidad. Las recomendaciones de almacenamiento reflejan la importancia de mantener condiciones específicas de temperatura para preservar la integridad del medicamento. Sin embargo, la falta de datos públicos sobre la estabilidad de la insulina y su potencia en diferentes condiciones de almacenamiento dificulta la evaluación de los riesgos asociados con su uso. (Heinemann y cols., 2020)

Además, mejorar la eficiencia energética en sistemas de refrigeración es crucial, especialmente considerando que los sistemas HVAC&R son notoriamente grandes consumidores de energía. La adopción de tecnologías más ecológicas, como compresores de corriente continua y el uso de energías renovables, ofrece oportunidades significativas para reducir costos y minimizar el impacto ambiental de estos sistemas. Investigaciones en este campo están en curso, buscando desarrollar sistemas de refrigeración más eficientes y sostenibles.

Por último, en el diseño de cámaras de refrigeración, es esencial tener en cuenta tanto los

cálculos teóricos como la teoría detrás de los principios de refrigeración. Esto garantiza que las cámaras cumplan con los estándares de temperatura necesarios para preservar la integridad de los productos farmacéuticos, como la insulina, y mantener la eficiencia energética de los sistemas de refrigeración. Un diseño bien fundamentado asegura un almacenamiento adecuado y seguro de medicamentos sensibles a la temperatura, contribuyendo así a la salud y bienestar de los pacientes. (Parise y Marques, 2005)

3.3.1. Carga del producto

En la termodinámica clásica, nos interesan principalmente los cambios y las transferencias de energía y masa entre ciertos cuerpos (por ejemplo, un tanque de agua o una cantidad de gas, etc.). Para clarificar las discusiones, llamamos al cuerpo particular de interés (o región del espacio) el sistema. El sistema a menudo (pero no necesariamente) está contenido dentro de algún límite físico. Cuando el límite del sistema permite que la materia (masa) entre o salga del sistema, se dice que es un sistema abierto. Cuando el límite del sistema no permite que la masa entre o salga del sistema, pero permite que el trabajo y/o el calor se transfieran a través del límite, se dice que es un sistema cerrado. En el caso inusual de que el límite del sistema no permita que ni la masa ni la energía (en forma de calor o trabajo) crucen el límite, se dice que es un sistema aislado.

La distinción entre sistemas abiertos y cerrados es importante, ya que los análisis termodinámicos de sistemas cerrados tienden a ser más simples, debido al hecho de que no tenemos que considerar los cambios en la energía de un sistema producidos simplemente por la transferencia de masa con su energía intrínseca dentro o fuera del sistema. Este es el caso del refrigerante en un refrigerador o bomba de calor (siempre que no haya fugas), y por lo tanto solo necesitamos considerar los efectos de transferencia de trabajo y calor. (Carson, 2013b)

De acuerdo con Bohn de México, (2014) algunas consideraciones importantes para el diseño frigorífico en base un producto perecedero la carga de producto recae en lo siguiente.

1. Cuando un artículo se introduce en una cámara de refrigeración o congelación, su temperatura disminuye hasta alcanzar la temperatura deseada, (vea el anexo 4) , para conocer algunas características comunes a considerar en el diseño. Este proceso involucra tres componentes de carga térmica:
 - a) El calor específico se refiere a la cantidad de calor que se debe extraer de una libra de producto para reducir su temperatura en 1°F. Este valor varía dependiendo de si el producto está por encima o por debajo del punto de congelación.
 - b) El calor latente, conocido como calor de fusión, es la cantidad de calor que se debe eliminar para congelar una libra de producto. La mayoría de los productos tienen un punto de congelación típico, y se puede estimar en 28°F si no se conoce exactamente.

- c) La respiración es el calor generado por frutas y verduras frescas mientras están almacenadas, debido a su actividad metabólica. Este calor varía según el tipo y la temperatura del producto y se mide en unidades BTU por libra por día.
2. Cuando se calcula la carga del producto con un tiempo de abatimiento diferente a 24 horas, se debe aplicar un factor de corrección, que es la relación entre 24 horas y el tiempo de abatimiento, a la carga del producto.
 3. Es importante tener en cuenta que, aunque se pueda calcular el abatimiento de temperatura del producto, no se puede garantizar la temperatura final debido a diversos factores externos e incontrolables, como el tipo de empaque, la posición de la carga y el método de almacenamiento.

3.3.2. Cargas térmicas de climatización

Es importante para el control clínico de la insulina mantener adecuadas la temperatura y la humedad en condiciones ideales para la preservación segura de este medicamento.

El análisis de las cargas térmicas es un proceso llevado a cabo por expertos para evaluar las demandas de climatización de un entorno, sin importar su propósito, ya sea residencial, comercial o industrial. La carga térmica se refiere a la cantidad de energía requerida para mantener o alcanzar ciertas condiciones de temperatura y humedad en un espacio específico, adaptándose a su uso particular, ya sea en un hogar para determinar las necesidades de calefacción, o en un almacén de alimentos congelados para garantizar sistemas de refrigeración confiables. (Sistemas de ventilación S&P, 2023)

Cargas sensibles

Las cargas sensibles incluyen la transmisión de calor a través de los cerramientos opacos y translúcidos, la radiación solar, la ventilación o infiltración de aire, la ocupación del local, la iluminación y la maquinaria presente en el espacio.

■ Cargas por transmisión a través de cerramientos opacos

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Siendo:

Q : carga térmica por transmisión (W)

U : transmitancia térmica del muro ($\text{W}/\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$)

A : superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas (m^2)

ΔT : diferencia de temperaturas, corregida según la orientación del muro y su peso

■ Cargas por transmisión a través de cerramientos translúcidos

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (3.2)$$

Donde:

ΔT : diferencia de temperaturas entre las caras interior y exterior del cerramiento ($^{\circ}\text{C}$)

■ **Cargas térmicas por radiación solar**

$$Q = S \cdot R \cdot f \quad (3.3)$$

Siendo:

S : superficie translúcida expuesta a la radiación (m^2)

R : radiación solar que atraviesa un vidrio sencillo (W/m^2)

f : factores de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio

En la tabla 3.3.2 se dan los valores de las máximas aportaciones solares a través de vidrio sencillo.

En cuanto a los coeficientes de corrección f , los que se aplican habitualmente son el de marco metálico ($f = 1.17$) y el factor solar del vidrio, que los fabricantes indican en sus fichas técnicas como g . En caso de que queramos aplicar dos coeficientes de corrección, deberemos multiplicarlos.

■ **Carga sensible por ventilación o infiltración de aire exterior**

$$Q = V \cdot 0.34 \cdot \Delta t \quad (3.4)$$

Donde:

V : caudal de aire infiltrado o de ventilación (m^3/h)

Δt : diferencia de temperatura entre el ambiente exterior y el interior ($^{\circ}\text{C}$)

Cuadro 3.4: valores de las máximas aportaciones solares a través de vidrio sencillo

Fuente: (Carrier, 1980)

Latitud Norte	Mes	Orientación									
		Máximas aportaciones solares R (W/m^2)									
N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Horiz.			
30°	Junio	63	437	506	283	66	283	506	437	786	
	Julio y Mayo	50	412	515	314	94	314	515	412	774	
	Agosto y Abril	34	339	519	405	197	405	519	339	739	
	Sept.y Marzo	28	283	496	478	329	478	496	283	666	
	Oct. y Febrero	24	122	425	513	456	513	425	122	563	
	Nov. y Enero	22	50	364	509	500	509	364	50	456	
40°	Diciembre	19	37	329	509	513	509	329	37	412	
	Junio	53	418	509	349	169	349	509	418	745	
	Julio y Mayo	46	399	515	393	217	393	515	399	732	
	Agosto y Abril	34	320	509	458	320	459	509	320	673	
	Sept.y Marzo	28	182	469	509	440	509	469	182	575	
	Oct. y Febrero	22	109	383	513	509	513	383	109	405	
	Nov. y Enero	15	37	314	491	522	491	314	37	324	
	Diciembre	15	31	270	465	519	465	270	31	267	

El siguiente escenario fue realizado bajo una temperatura ambiente constante de 43°C, sin la presencia de productos en su interior. Como se evidencia en la figura 3.4 la pendiente de la carga térmica en el conservador es mayor en el congelador. Este comportamiento se debe principalmente a las dimensiones del conservador las cuales dan lugar a un mayor intercambio de aire con el entorno circundante a la nevera. (Rio, Isaza-Roldan, Jara, Mejia, y Ospina, 2014)

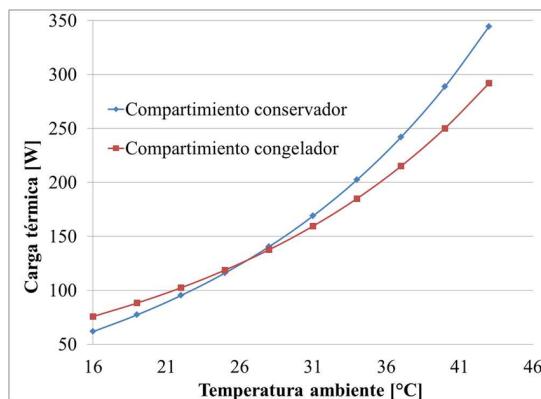


Figura 3.4: Carga térmica vs humedad relativa
Fuente: Este experimento fue realizado por Rio y cols., 2014

• Cargas generadas por la iluminación del local

Se considerará que la potencia integrada de la lámpara se transformará en calor sensible; en el caso de las lámparas de descarga (fluorescentes) se incrementará el valor obtenido en un 25 % para tener en cuenta el cebador y el balasto.

- **Lámparas incandescentes o LED**

$$Q = Pot \quad (3.5)$$

- **Lámparas de descarga**

$$Q = 1.25 \cdot Pot \quad (3.6)$$

Donde:

Q : carga térmica por iluminación (W)

Pot : potencia de las lámparas (W)

- **Cargas generadas por las máquinas presentes en el local**

Se considerará que las pérdidas de la maquinaria se transforman íntegramente en calor sensible.

- **Carga generada por maquinaria**

$$Q = \eta \cdot Pot \quad (3.7)$$

Donde:

Q : carga térmica por maquinaria (W)

η : rendimiento de la máquina

Pot : potencia de la maquinaria (W)

Cargas latentes

- **Carga latente por ventilación o infiltración de aire exterior Carga latente de ventilación o infiltración.**

$$Q = V \cdot 0.63 \cdot \Delta w \quad (3.8)$$

Donde:

Q : carga térmica latente por ventilación o infiltración de aire (W)

V : caudal de aire infiltrado o de ventilación (m^3/h)

Δw : diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior y el interior ($^{\circ}C$)

- **Carga latente por ocupación del local**

Esta carga se determina multiplicando una valoración del calor latente emitido por la persona tipo por el número de ocupantes previstos para el local. La cantidad de calor emitido por persona se obtiene de la tabla que aparece en el apartado

donde se describe la Carga sensible por ocupación del local.

Las formulas descritas se tomaron de (Bruno, 2024; Carrier, 1980; Sistemas de ventilación S&P, 2023)

3.4. Ecodiseño

El reglamento de ecodiseño se aplica a una amplia gama de equipos, incluyendo unidades condensadoras y centrales de compresores para refrigeración a media y baja temperatura. Nuestros productos cumplen con los requisitos establecidos para coeficiente de rendimiento (COP) y rendimiento estacional normalizado (SEPR), este factor es utilizado para comparación de equipos funcionando en modo refrigeración para escenarios de refrigeración para procesos industriales, garantizando así un funcionamiento eficiente y respetuoso con el medio ambiente (vea el cuadro 3.5) (Intarcon, 2023).

En el caso de las enfriadoras de proceso , los requisitos de ecodiseño se aplican a equipos de cualquier potencia, con enfriamiento por aire o por agua, tanto para media como para baja temperatura (cuadro 3.6). También se han establecido requisitos para las enfriadoras de proceso de alta temperatura, que entrarán en vigor a partir de enero de 2018 y enero de 2021. (cuadro 3.7)

Por ejemplo, para unidades condensadoras con una potencia nominal de hasta 5 kW y 2 kW en media y baja temperatura respectivamente, se exige un COP mínimo a partir del 1 de julio de 2016. Este requisito se incrementa para equipos de mayor potencia, donde el SEPR se convierte en el parámetro de referencia.

El ecodiseño no solo se limita a cumplir con los estándares de rendimiento energético, sino que también aborda otros aspectos importantes, como la reducción de la carga refrigerante, la sectorización de los sistemas de refrigeración, la minimización del riesgo de fugas y la utilización de refrigerantes de bajo potencial de calentamiento atmosférico. Estas medidas tienen como objetivo reducir el impacto ambiental de los sistemas de refrigeración y promover un futuro sostenible (Caloryfrio, 2018).



Figura 3.5: El Grupo CIAT implementa el Ecodiseño en sus sistemas de climatización y refrigeración.

Fuente: (Grupo CIAT, 2011)

Cuadro 3.5: Requisitos de ecodiseño para unidades condensadoras

(Intarcon, 2023)

Temperatura	Pot. nominal	Factor	Valor mínimo desde 01/07/2016	Valor mínimo desde: 01/07/2018
Media	$0,2 \text{ kW} \leq PA \leq 1 \text{ kW}$	COP	1,20	1,40
	$1 \text{ kW} < PA \leq 5 \text{ kW}$	COP	1,40	1,60
	$5 \text{ kW} < PA \leq 20 \text{ kW}$	SEPR	2,25	2,55
	$20 \text{ kW} < PA \leq 50 \text{ kW}$	SEPR	2,35	2,65
Baja	$0,1 \text{ kW} \leq PA \leq 0,4 \text{ kW}$	COP	0,75	0,80
	$0,4 \text{ kW} < PA \leq 2 \text{ kW}$	COP	0,85	0,95
	$2 \text{ kW} < PA \leq 8 \text{ kW}$	SEPR	1,50	1,60
	$8 \text{ kW} < PA \leq 20 \text{ kW}$	SEPR	1,60	1,70

Cuadro 3.6: Requisitos de ecodiseño para enfriadoras de proceso de media y baja temperatura

(Intarcon, 2023)

Condensación	Temperatura	Potencia nominal PA	Valor mínimo a partir del 01/07/2016	01/07/2018
Aire (a 35°C)	Media (-8°C)	$PA \leq 300 \text{ kW}$	2,24	2,58
		$PA > 300 \text{ kW}$	2,80	3,22
	Baja (-25°C)	$PA \leq 200 \text{ kW}$	1,48	1,70
		$PA > 200 \text{ kW}$	1,60	1,84
Agua (a 30°C)	Media (-8°C)	$PA \leq 300 \text{ kW}$	2,86	3,29
		$PA > 300 \text{ kW}$	3,80	4,37
	Baja (-25°C)	$PA \leq 200 \text{ kW}$	1,82	2,09
		$PA > 200 \text{ kW}$	2,10	2,42

Cuadro 3.7: Requisitos de ecodiseño para enfriadoras de proceso de alta temperatura

(Intarcon, 2023)

Condensación	Temperatura	Potencia nominal PA	Valor mínimo a partir del 01/01/2018	01/01/2021
Aire (a 35°C)	Alta (7°C)	$PA < 400 \text{ kW}$	4.5	5.0
		$PA > 400 \text{ kW}$	5	5.5
Agua (a 30°C)	Alta (7°C)	$PA < 400 \text{ kW}$	6.5	7.0
		$400 \text{ kW} \leq PA < 1500 \text{ kW}$	7.5	8.0
		$PA > 1500 \text{ kW}$	8.0	8.5

3.5. Restricciones técnicas internas y externas

3.5.1. Factor de Seguridad

Después de calcular las cuatro principales fuentes de calor, se agrega un factor de seguridad del 10 % a la carga total de refrigeración. Este factor se incorpora para considerar posibles omisiones o inexactitudes mínimas en los cálculos, proporcionando así una capa adicional de seguridad o reserva que puede provenir del rendimiento del compresor y las fluctuaciones en la carga promedio.

3.5.2. Dimensionamiento y Aislamiento de la Cámara de Refrigeración

Para realizar el dimensionamiento y aislamiento de la cámara de refrigeración en la Unidad Médica Familiar 40 en Azcapotzalco, CDMX, se seguirán las normas oficiales de México que regulan este tipo de instalaciones, asegurando así el cumplimiento de estándares de calidad y seguridad. A continuación, se detalla el proceso:

- 1. Determinación de requisitos:** Se comenzará identificando los requisitos específicos de la cámara de refrigeración para el almacenamiento de insulina en la Unidad Médica Familiar 40. Esto incluirá el volumen de almacenamiento necesario, la temperatura requerida para mantener la integridad de la insulina, y cualquier otro requisito relevante.
- 2. Cálculo de espacio y distribución interna:** Basado en los requisitos identificados, se calculará el espacio necesario y se diseñará la distribución interna de la cámara. Se determinará la disposición de las estanterías y los espacios necesarios para el almacenamiento eficiente de la insulina, teniendo en cuenta factores como el acceso fácil y la circulación del aire.
- 3. Selección de materiales y equipos:** Se seleccionarán los materiales adecuados para las paredes, techo y suelo de la cámara, teniendo en cuenta las normas oficiales de México sobre conductividad térmica, resistencia a la humedad y resistencia estructural. Además, se elegirán los equipos de refrigeración, como el evaporador, compresor y condensador, garantizando su compatibilidad con las necesidades de temperatura y espacio de la cámara.
- 4. Diseño conceptual y distribución de equipos:** Con base en los cálculos y selecciones anteriores, se elaborará un diseño conceptual detallado de la cámara de refrigeración, se usará software de diseño de ingeniería. Esto incluirá la distribución de los equipos de refrigeración dentro de la cámara, así como la ubicación de la puerta y componentes para facilitar el acceso y la ventilación adecuada.
- 5. Consideraciones adicionales:** Se tendrán en cuenta otras consideraciones importantes, como la instalación de sistemas de monitoreo de temperatura y humedad, la instalación de sistemas de respaldo de energía para evitar interrupciones en el suministro de energía, y la implementación de medidas de seguridad para proteger tanto la insulina almacenada como el personal que trabaja en la unidad médica.

Y para empezar con el dimensionamiento de la cámara frigorífica, se da a conocer las medidas de cada empaque de la insulina en sus dos versiones, consulte las tablas 3.1 y 3.2, también el peso que puede contener cada empaque con el fin de almacenar una cantidad grande de insulina o refrigerar al menos la cantidad promedio de medicamento que llega a la unidad.

Con dicho calculo se procederá a hacer un diseño conceptual, de la cámara donde especificará el espacio que se ocupara, la distribución de la estantería, el producto

a almacenar, así como indicar donde se colocaran las puertas y ventanas, para después colocar la distribución del equipo de refrigeración, que son el evaporador, compresor, condensador, y todos los equipos adicionales que se requieran para el óptimo funcionamiento de nuestra cámara frigorífica.

Después de recabar la información del dimensionamiento obtenemos las cargas térmicas para el equipo en base a la sección 3.3.2 en este capítulo. Además consideramos las cargas que afectan la temperatura del sistema, las cuales son

Cargas por conducción en paredes y techo

Los paredes y techos de las cámaras frigoríficas suelen ser superficies planas constituidas por varias capas de materiales (materiales estructurales + capas de aislantes térmicos). Las superficies externa e interna de los parámetros están en contacto con un fluido en movimiento que es el aire. Por tanto, en las superficies externas e internas de los parámetros se producirán transferencias de calor por convección. Mientras que la transferencia de calor entre los materiales que conforman las capas internas se realizará por conducción. El calor que se transfiere por cada parámetro se calcula con la ecuación 1 donde A es el área del mismo, T_{ext} y T_{int} son las temperaturas en el interior y exterior de la cámara en el lado de ese parámetro, y Kg es una constante de proporcionalidad que se denomina coeficiente global de transmisión. Sus unidades en el SI son $Wm^{-2}K^{-1}$. Para n capas de materiales en el parámetro se tendrá:

$$\dot{Q}_p = Kg \cdot A \cdot (T_{ext} - T_{int}) \quad (3.9)$$

$$Kg = \frac{1}{\frac{1}{h_{p.int}} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \dots + \frac{e_n}{k_n} + \frac{1}{h_{p.ext}}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{p.int}} + \frac{1}{h_{p.ext}} + \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{k_i}} \quad (3.10)$$

Donde e_i es el espesor de cada capa que conforma el parámetro, k_i es la conductividad térmica de cada material, h_{ext} y h_{int} son los coeficientes de transferencia de calor por convección exterior e interior.

Para calcular el calor transferido por una pared, la superficie del mismo A siempre es conocida; lo mismo la diferencia de temperaturas entre el ambiente de un lado y del otro, que son valores de diseño.

Por tanto, es necesario fijar el espesor y la conductividad de los materiales que conforman las distintas capas, junto con los coeficientes de transferencia por convección de ambos lados del parámetro. Los coeficientes de película en las superficies de cámaras frigoríficas suelen ser en el interior de $7.5 Wm^{-2} K^{-1}$ y en el exterior $25 Wm^{-2} K^{-1}$.

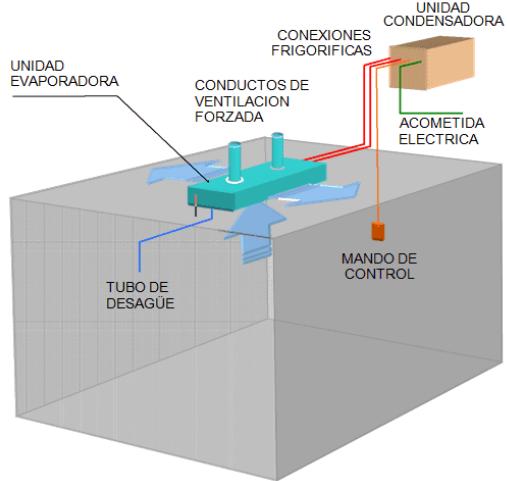


Figura 3.6: Vista general de la cámara de refrigeración
Fuente: (Intarcon, 2023)

En la figura 3.6 las flechas indican el intercambio de calor producido por los componentes y el aire del sistemas

Cargas por infiltración de aire

El aire que entra en la cámara desde el exterior estará a una temperatura más alta que el aire que está en el interior. Por tanto, el sistema de refrigeración debe tener potencia suficiente para bajar la temperatura del aire de entrada hasta la temperatura de la cámara, vea la tabla 3.8 para tener una idea de cuántas veces en promedio se renueva el aire en una cámara al día. Esa potencia se calculará con el producto del flujo máscico de aire de renovación \dot{m}_{aire} (kg/s) por la diferencia de entalpías específicas en las condiciones correspondientes ($h_{aire_{ext}} - h_{aire_{int}}$) (kJ/kg).

$$\dot{Q}_{aire} = \dot{m}_{aire} \cdot (h_{aire_{ext}} - h_{aire_{int}}) \quad (3.11)$$

La entalpía del aire será la suma de la correspondiente al aire seco y la del vapor de agua mezclado con el mismo:

$$h_{aire\ húmedo} = h_{aire} + \omega_{aire} \cdot h_{vapor} \quad (3.12)$$

La entalpía específica del aire a presión atmosférica se puede calcular como el producto del calor específico a esa presión por la temperatura ($C_{p_{aire}} = 1.005 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$):

$$h_{aire} = C_{p_{aire}} \cdot T_{aire} \quad (3.13)$$

$$h_{aire} = 1.005 \cdot T \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \quad (3.14)$$

La entalpía del vapor por unidad de masa de aire seco se calcula como el producto de la humedad específica del aire (ω_{aire}) por la suma del calor latente absorbido en el proceso de evaporación a presión atmosférica ($\lambda = 2503 \text{ kJ/kg agua}$) y el calor específico a esa presión

por la temperatura:

$$h_{vapor} = \omega_{aire} \cdot (\lambda + C_{pvapor} \cdot T) \quad (3.15)$$

$$\lambda = 2503 \text{ kJ/kg agua} \quad (3.16)$$

$$C_{pvapor} = 1.86 \text{ kJ/kg agua } ^\circ\text{C} \quad (3.17)$$

De ahí se obtiene la Ecuación 3.12 por la que se puede calcular la entalpía del aire húmedo a partir de su temperatura y su humedad absoluta:

$$h_{aire} = C_{p_{aire}} \cdot T + \omega_{aire} \cdot (\lambda + C_{p_{vapor}} \cdot T) \quad (3.18)$$

Si se desea expresar la entalpía en relación al volumen de aire, se debe multiplicar por la densidad del mismo ρ :

$$hV_{aire} = (C_{p_{aire}} \cdot T_{vapor} + \omega_{aire} \cdot (\lambda + C_{p_{vapor}} \cdot T_{vapor})) \cdot \rho \quad (3.19)$$

La densidad se calcula con la ecuación:

$$\rho = \frac{PM_{aire}}{R \cdot T} \quad (3.20)$$

Donde: PM_{aire} es el peso molecular del aire (28.93 g/mol), T es la temperatura del aire en K, y R es la constante universal de los gases (0.082 litros Pa/mol K).

Sabiendo el volumen que se renueva periódicamente en la cámara, se puede calcular el calor empleado en el enfriamiento del aire mediante la ecuación:

$$\dot{Q}_{aire} = n \cdot V \cdot (hV_{aire_{ext}} - hV_{aire_{int}}) \quad (3.21)$$

Cuadro 3.8: Estimación del número de veces que se renueva el aire en las cámaras por día

(Velazquez, 2020)

Renovaciones por día	Renovaciones por día	Volumen (m ³)	T <0°C	T >0°C	Volumen (m ³)
2,5	52	70	100	6,8	9
3	47	63	150	5,4	7
4	40	53	200	4,6	6
5	35	47	250	4,1	5,3
7,5	28	38	300	3,7	4,8
10	24	32	400	3,1	4,1
15	19	26	500	2,8	3,6
20	16,5	22	600	2,5	3,2
25	14,5	19,5	800	2,1	2,8
30	13	17,5	1000	1,9	2,4
40	11,5	15	1500	1,5	1,95
50	10	13	2000	1,3	1,65
60	9	12	2500	1,1	1,45
80	7	10	3000	1,05	1,05

Cargas del producto a refrigerar

La carga térmica más importante en una cámara proviene de los productos que se pretenden refrigerar. El calor empleado en el proceso depende de la temperatura de entrada de los productos y la temperatura a la que se desea realizar la conservación en frío. Este calor se puede dividir en cuatro partes:

1. Calor de enfriamiento por encima del punto de congelación:

$$\dot{Q}_{\text{enf1}} = \dot{m} \cdot C_e \cdot (T_e - T_{\text{cong}}) \quad (3.22)$$

2. Calor de congelación

$$\dot{Q}_{\text{cog}} = \dot{m} \cdot L_{\text{cong}} \quad (3.23)$$

El calor latente de congelación de un producto (L_{cong}) puede ser obtenido en la bibliografía p.ej (Bohn de México, 2014), donde existen numerosas tablas para diferentes tipos de productos; o puede ser estimado a partir de su contenido de agua con la siguiente fórmula: $L_{\text{cong}} = 3.335 \cdot a$

3. Calor de enfriamiento por debajo del punto de congelación

$$\dot{Q}_{\text{enf2}} = \dot{m} \cdot C_{e\text{cong}} \cdot (T_{\text{cong}} - T_f) \quad (3.24)$$

4. Calor de respiración del producto

$$\dot{Q}_{\text{resp}} = \dot{m} \cdot L_{\text{resp}} \quad (3.25)$$

En Velazquez, 2020 se mencionan otras cargas que se podrían considerar como secundarias, pero no podemos excluirlas del cálculo son:

- Carga por radiación solar
- Carga por ocupación (personal laborando)
- Por iluminación
- Por motores

3.5.3. Sistema de refrigeración

Selección del evaporador

Luego se continua con la elección del evaporador, para ello debemos conocer:

- Temperatura Saturada de Succión

$$T_{\text{sat.succ}} = T_{\text{camara}} - 10^{\circ}F \quad (3.26)$$

- Temperatura Saturada de Evaporación

$$T_{sat.succ} = T_{sat.evap} \quad (3.27)$$

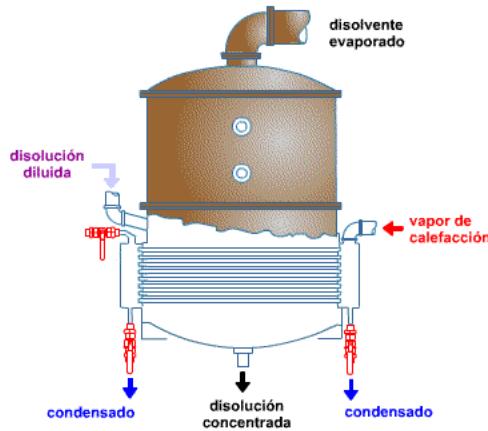


Figura 3.7: Funcionamiento del evaporador



Figura 3.8: Vistas de un sistema de evaporador. Creado en AutoCAD, basado en (bibliocad, s.f.)

Con este dato, y el dato de los BTU de requerimiento de la carga térmica, se selecciona el evaporador más conveniente, también considerando el diseño espacial de la cámara frigorífica, en donde podremos elegir entre los siguientes tipos de evaporador, vea las figuras 3.7 y 3.8, para comprender los tipos de evaporador que se mencionan aquí:(a) Evaporadores perfil bajo; (b) Evaporadores perfil medio; (c) Evaporadores perfil alto; (d) Evaporadores perfil industrial y (e) Evaporadores de techo.

Selección de motor

Una vez seleccionado el evaporador y determinado el número de motores-ventilador, procedemos a calcular el calor que estos generan. Si no se conocen las cargas debidas a los motores, se pueden hacer las siguientes suposiciones:

- Un motor de 1 HP por cada 16,000 ft³ en cámaras de refrigeración.
- Un motor de 1 HP por cada 12,500 ft³ en cámaras de congelación.

La selección de un motor adecuado implica considerar varios factores para garantizar un rendimiento óptimo en una aplicación específica, como los requisitos de la aplicación, el tipo de motor, la eficiencia y el rendimiento. Esto se facilita mediante la tabla 3.9.

Entonces, para calcular el calor emitido por los motores del evaporador, usamos la fórmula:

$$Q_{EME} = \text{No. de Motores en HP} \times \text{Calor equivalente} \times 24 \quad (3.28)$$

Con esta carga recalculamos la carga térmica parcial agregándole este valor, para luego agregarle el factor de seguridad del 10 %, y al finalizar, multiplicarlo por el número de horas estimadas.

Cuando se ha determinado la carga térmica total por hora, se puede seleccionar el equipo basado en la información obtenida del trabajo inicial de reconocimiento. Algunos otros factores que afectan la selección del equipo son:

- Balance del equipo
- Diferencial de temperatura del sistema (°DT)
- Control de la capacidad/seguridad del producto
- Tipo de operación/flujo del aire.

Balance del equipo. La capacidad de la unidad condensadora debe ser seleccionada a una temperatura saturada de succión que esté balanceada con el evaporador(es) a un diferencial de temperatura entre el refrigerante en el evaporador y el aire en la cámara de almacenamiento refrigerado (Intarcon, 2023).

Cuadro 3.9: Selección de motores de acuerdo a su carga

Fuente: (Suarez, 2022)				
HP Nominal	Tipo de motor	RPM Nominal	Eficiencia a Plena Carga	BTU/hr
0.5	Polo Sombreado	1500	35	360
0.08				580
0.125				900
0.16				1160
0.25	Fase dividida	1750	54	1180
0.33			56	1500
0.5			60	2120
0.75	Tres fases	1750	72	2650

Nota: Los evaporadores de bajo perfil ADT o BME usan motores EBM. El calor que emiten es equivalente a 273.73 BTU/hr

Bases teóricas de la refrigeración.

Energía.

La energía *E* es la capacidad para realizar trabajo. La energía de un sistema consta de energías internas *U*, cinéticas *K* y potenciales *P*. La energía interna se compone

de energías térmicas (sensible y latente), químicas y nucleares. A menos que haya una reacción química o nuclear, el cambio interno de un sistema se debe a un cambio en la energía térmica. El cambio total de energía de un sistema se expresa como:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (3.29)$$

Para la mayoría de los casos, las energías cinética y potencial no cambian durante un proceso y el cambio de energía se debe al cambio en la energía interna:

$$\Delta E = \Delta U = m(u_2 - u_1) \quad (3.30)$$

La energía se mide en kJ o Btu (1 kJ = 0.94782 Btu). La energía por unidad de tiempo es la tasa de energía y se expresa como:

$$\dot{E} = \frac{E}{t} \quad (\text{kW o Btu/h}) \quad (3.31)$$

La unidad de la tasa de energía es kJ/s, que es equivalente a kW o Btu/h (1 kW = 3412.14 Btu/h). La energía por unidad de masa se llama energía específica; tiene la unidad de kJ/kg o Btu/lbm (1 kJ/kg = 0.430 Btu/lbm).

$$e = \frac{E}{m} \quad (\text{kJ/kg o Btu/lbm}) \quad (3.32)$$

La energía puede transferirse hacia o desde un sistema en tres formas: masa, calor y trabajo. Se describen brevemente en las siguientes secciones.

Primera ley de la termodinámica

Es bien sabido que la termodinámica es la ciencia de la energía y la entropía, y que la base de la termodinámica es la observación experimental. En la termodinámica, tales observaciones se formularon en cuatro leyes básicas de la termodinámica llamadas la cero, primera, segunda y tercera leyes de la termodinámica. Las primeras y segundas leyes de la termodinámica son las herramientas más comunes en la práctica, debido al hecho de que las transferencias y conversiones de energía están gobernadas por estas dos leyes, y en este capítulo nos enfocamos en estas dos leyes.

La primera ley de la termodinámica (PLT) se puede definir como la ley de la conservación de la energía, y establece que *la energía no puede ser creada ni destruida*. Se puede expresar para un sistema general como el cambio neto en la energía total de un sistema durante un proceso es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la energía total que sale del sistema:

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta E_{\text{system}} \quad (3.33)$$

En forma de tasa,

$$\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}} = \Delta \dot{E}_{\text{system}} \quad (3.34)$$

Para un sistema cerrado que experimenta un proceso entre estados inicial y final que

involucran interacciones de calor y trabajo con los alrededores (Figura 3.9),

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta E_{\text{system}} \quad (3.35)$$

$$(Q_{\text{in}} + W_{\text{in}}) - (Q_{\text{out}} + W_{\text{out}}) = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$Q_{\text{in}}$$

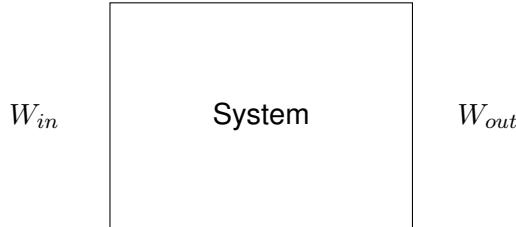


Figura 3.9: Representación de un sistema cerrado con interacciones de calor Q y Trabajo W sin intercambio de masa.

(Fuente: Propia, basado de (Carson, 2013b))

Si no hay cambio en las energías cinética y potencial,

$$(Q_{\text{in}} + W_{\text{in}}) - (Q_{\text{out}} + W_{\text{out}}) = \Delta U = m(u_2 - u_1) \quad (3.36)$$

Consideremos un volumen de control que involucra un proceso de flujo estable. La masa está entrando y saliendo del sistema y hay interacciones de calor y trabajo con los alrededores (Figura 3.10). Durante un proceso de flujo estable, el contenido total de energía del volumen de control permanece constante, y por lo tanto, el cambio total de energía del sistema es cero. Entonces, la PLT puede expresarse como:

$$\dot{E}_{\text{in}} - \dot{E}_{\text{out}} = \Delta \dot{E}_{\text{system}} = 0 \quad (3.37)$$

$$\dot{E}_{\text{in}} = \dot{E}_{\text{out}} \quad (3.38)$$

$$\dot{Q}_{\text{in}} + \dot{W}_{\text{in}} + \dot{m}h_{\text{in}} = \dot{Q}_{\text{out}} + \dot{W}_{\text{out}} + \dot{m}h_{\text{out}} \quad (3.39)$$

Aquí, las energías cinética y potencial son despreciadas.

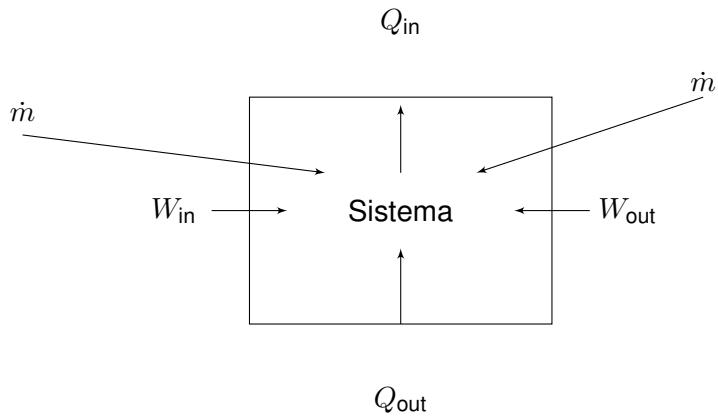


Figura 3.10: Representación de un sistema abierto con interacciones de calor Q y Trabajo W . Los intercambios de masa son las líneas con la \dot{m} fuera del sistema.
 (Fuente: Elaboración propia, basado de (Carson, 2013b))

Segunda ley de la termodinámica

La mayoría de los procesos de refrigeración y bombas de calor operan de manera cíclica, devolviendo periódicamente el refrigerante a un estado dado. Por lo tanto, podemos decir que durante el ciclo el cambio neto en la energía interna es cero, es decir:

$$0 = \Delta \int_{\text{cycle}} U \equiv \oint \Delta U = 0 \quad (3.40)$$

y por lo tanto, la primera ley para un proceso cerrado y cíclico puede escribirse como:

$$W_{\text{net}} = Q_{\text{net}} \quad (3.41)$$

En los ciclos de refrigeración y bomba de calor, el trabajo se realiza solo durante una etapa del ciclo, mientras que el calor se transfiere durante dos etapas, una a baja temperatura y otra a alta temperatura (las temperaturas son altas relativas entre sí, en lugar de términos absolutos). Por lo tanto, la forma más útil de la Primera Ley para analizar ciclos de refrigeración o bomba de calor es:

$$W = Q_H - Q_C \quad (3.42)$$

donde W es el trabajo realizado sobre el refrigerante, y los subíndices H y C se refieren a los procesos de transferencia de calor de temperatura alta (caliente) y baja (fría), respectivamente.

Afirmaciones de la Segunda Ley

La Segunda Ley de la Termodinámica es quizás ligeramente más abstracta y difícil de entender que la Primera Ley. Parafraseando a Rudolf Clausius (1822 a 1888), la Segunda Ley establece que:

”Es imposible construir un dispositivo que opere de manera cíclica cuyo único propósito

sea transferir calor de un depósito de temperatura baja a un depósito de temperatura alta.”

A primera vista, esta afirmación podría sugerir que la refrigeración (que es un proceso que tiene el efecto neto de transferir calor de una temperatura baja a una temperatura alta) es una imposibilidad física; sobre este punto más adelante.

Para obtener una expresión matemática de la Segunda Ley, primero necesitamos recordar la definición de entropía (como se usa en la termodinámica clásica) cortesía de Clausius:

$$\Delta S = \int \frac{Q_{rev}}{T} \quad (3.43)$$

También, la Segunda Ley puede escribirse como:

$$\Delta S_{universe} = \Delta S_{system} - \Delta S_{surrounding} \geq 0 \quad (3.44)$$

Podemos expresar verbalmente la Ecuació 3.44 diciendo que para cualquier proceso, la entropía del universo solo puede aumentar, o en el caso límite (procesos reversibles) puede permanecer sin cambios. La Segunda Ley establece que la entropía del universo nunca puede disminuir. (Carson, 2013b)

Formalismo de Refrigeración

Un refrigerador es un dispositivo utilizado para transferir calor de un medio de baja temperatura a uno de alta temperatura. Son dispositivos cíclicos. La Figura 3.11 muestra el esquema de un ciclo de refrigeración por compresión de vapor (el tipo más común). Un fluido de trabajo (llamado refrigerante) ingresa al compresor en estado de vapor y es comprimido a la presión del condensador. El refrigerante de alta temperatura se enfriá en el condensador al rechazar calor a un medio de alta temperatura. El refrigerante ingresa al dispositivo de expansión en estado líquido. Se expande en el dispositivo de expansión y su presión y temperatura disminuyen. El refrigerante es una mezcla de vapor y líquido en la entrada del evaporador. Absorbe calor de un medio de baja temperatura a medida que fluye en el evaporador. (Boles y Çengel, 2010)

El ciclo se completa cuando el refrigerante sale del evaporador en estado de vapor y entra en el compresor. Un balance de energía para un ciclo de refrigeración, basado en la ecuación 3.33 de la PLT, da como resultado:

$$QH = QL + W \quad (3.45)$$

El indicador de eficiencia para un ciclo de refrigeración es el coeficiente de rendimiento (COP), que se define como el calor absorbido del espacio enfriado dividido por el trabajo de entrada en el compresor:

$$COP_R = \frac{QL}{W} \quad (3.46)$$

Esto también se puede expresar como:

$$COP_R = \frac{QL}{QH - QL} = \frac{1}{QH/QL - 1} \quad (3.47)$$

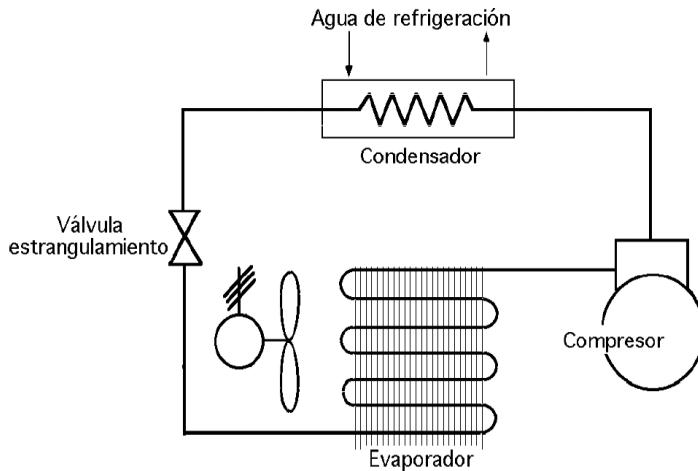


Figura 3.11: Diagrama esquemático del ciclo de refrigeración por compresión de vapor.
Fuente: (Theoms, 2023)

3.5.4. Distribución del Aire

El diseño de sistemas HVAC a menudo se basa en decisiones predeterminadas, como suministrar agua fría a 5°C o aire acondicionado a 13°C, debido a su efectividad comprobada. Sin embargo, estas decisiones tienen implicaciones directas en los costos de tuberías, conductos y equipos, lo que afecta el gasto de capital y la comodidad (HVAC, 2016)

- Equipos de manejo de aire más pequeños reducen el gasto de capital y liberan espacio adicional debido a su huella más pequeña.
- La distribución de aire frío puede ahorrar espacio significativo. Por ejemplo, un manejador de aire típico que necesita 34,485 pies cúbicos por minuto (cfm) para aire a 13°C solo requiere 20,900 cfm para aire a 7°C. Esto reduce el área frontal de la bobina y permite conductos más pequeños y sencillos.
- | Conductos más pequeños significan menos chapa metálica, instalación más fácil y más espacio en el techo para bandejas de cables. Además, los conductos redondos permiten velocidades de aire más altas y reducen aún más el tamaño del conducto.
- Una altura de piso a piso más corta, gracias a los conductos más pequeños, puede reducir los costos de vidrio y acero en edificios de varios pisos, e incluso agregar un piso de espacio alquilable.
- Una menor potencia del ventilador reduce los costos de instalación eléctrica y operativos durante la vida útil del edificio, y puede disminuir el ruido del ventilador

(Intarcon, s.f.).

El cálculo del flujo de aire se realiza multiplicando el área total de la habitación por la altura del techo y el número de cambios de aire por hora (ACH), y dividiendo todo entre 60 minutos para obtener los CFM (pies cúbicos por minuto) (Bercofred, 2021).

$$CFM = \frac{\text{Área} \times \text{Altura} \times ACH}{60} \quad (3.48)$$

En una cámara refrigerada estándar, la humedad relativa (HR) generalmente se mantiene entre el 90 % y el 100 %. Cuando la HR alcanza niveles del 90 % al 100 %, la formación de condensación es casi inevitable. La presencia no deseada de humedad en el aire crea un ambiente propicio para el crecimiento de contaminantes, lo que puede representar una amenaza para los productos almacenados.

3.5.5. Dimensionamiento de puerta

Las puertas desempeñan un papel importante en el equilibrio termodinámico de la cámara de refrigeración, ya que representan puntos de entrada y salida de aire que pueden afectar significativamente la eficiencia energética y la estabilidad térmica de la cámara. Especialmente en el caso de la refrigeración de insulina, donde se requiere un control preciso de la temperatura, las puertas deben diseñarse y ubicarse estratégicamente para minimizar la pérdida de frío y mantener un ambiente interno constante y seguro para el almacenamiento de medicamentos sensibles a la temperatura. Por lo tanto, elegir puertas adecuadas y gestionar su uso de manera eficiente es fundamental para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de refrigeración y la integridad de los productos almacenados.

3.6. Lineamientos de regulación del sistema artefactual (Normativas y regulaciones)

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son leyes técnicas de obligado cumplimiento emitidas por las autoridades competentes, cuyo objetivo es establecer las condiciones que deben cumplirse si un proceso o servicio representa un riesgo para la seguridad humana, o pone en peligro la salud humana. También contiene información sobre los términos y referencias para el cumplimiento y aplicación de estos términos (De Salud, 2022).

3.6.1. Normas oficiales Mexicanas

- NOM-12-ENER-2019, Eficiencia energética de unidades condensadoras y evaporadoras para refrigeración. Límites, métodos de prueba y etiquetado.
- NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.
- NOM-197-SSA1-2000, Que establece los requisitos mínimos de infraestructura y equipamiento de hospitales y consultorios de atención médica especializada.

- NOM-028-STPS-2012, Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas.
- NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo. Esta norma establece los requisitos para la iluminación en los centros de trabajo, con el fin de garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.

Para mayor detalles del contexto normativo revise la sección 2.2. De acuerdo a la NOM-025-STPS-2008 se establecen los siguientes requisitos:

- La iluminación debe ser suficiente para permitir a los trabajadores realizar sus actividades sin riesgos.
- Se requiere que la iluminación sea uniforme y sin deslumbramientos.
- La iluminación debe adaptarse adecuadamente al tipo de actividad que se realiza en el centro de trabajo.

3.6.2. Recomendaciones para Cámaras Frigoríficas

Además de cumplir con los requisitos normativos, se sugieren las siguientes recomendaciones para garantizar una iluminación adecuada en cámaras frigoríficas:

- Emplear luminarias altamente eficientes en términos energéticos.
- Ajustar la altura de las luminarias para lograr una distribución uniforme de la luz.
- Seleccionar luminarias con un ángulo de apertura apropiado para el área que se va a iluminar.

3.6.3. Consideraciones Específicas para Cámaras Frigoríficas

Al diseñar e instalar el sistema de iluminación en cámaras frigoríficas, se deben tener en cuenta consideraciones específicas:

- La temperatura dentro de la cámara puede afectar el rendimiento de las luminarias, por lo que es crucial seleccionar aquellas diseñadas para funcionar en entornos fríos.
- La humedad también puede influir en el rendimiento de las luminarias, por lo que se deben elegir luminarias resistentes a la humedad.
- La condensación es un problema potencial en estas cámaras, por lo que se deben seleccionar luminarias diseñadas para prevenir la acumulación de humedad.

3.6.4. Normativa y requisitos para cámaras frigoríficas comerciales

La Norma Oficial Mexicana NOM-001-SCFI-2018 establece requisitos de seguridad y métodos de prueba para aparatos electrónicos, incluyendo cámaras frigoríficas comerciales. Esta norma incluye los siguientes requisitos específicos:

- **Protección contra Riesgos Eléctricos:** Se requiere un interruptor diferencial de alta sensibilidad para proteger los circuitos eléctricos, y los aparatos deben conectarse a tomas de corriente con conexión a tierra.
- **Protección contra Riesgos Mecánicos:** Las puertas y ventanas deben estar diseñadas para prevenir atrapamientos y lesiones, y deben contar con sistemas de cierre seguro.
- **Protección contra Riesgos Térmicos:** Se exige un adecuado sistema de aislamiento térmico para evitar quemaduras y exposición a temperaturas extremas.
- **Protección contra Riesgos de Incendio:** Se requiere un sistema de alarma de fugas de refrigerante y un sistema de extinción de incendios adecuado.
- **Seguridad de Puertas:** Las puertas deben poder abrirse desde el interior sin necesidad de llave, incluso si tienen cerraduras externas. En temperaturas bajo cero, se deben instalar dispositivos de calentamiento para evitar la congelación de las puertas.

3.7. Conceptualización De Sistema Artefactual (bosquejo general)

El diseño inicial del equipo a diseñar representará de forma muy simplificada las ideas subyacentes de diseño. Para el diseño preliminar se hará uso de Inventor 2025 siguiendo alguno de estos pasos.

1. **Definir Dimensiones:** Establecer las dimensiones generales hipotéticas de la cámara de refrigeración, incluyendo altura, anchura y profundidad.
2. **Diseñar Paredes Aisladas:** Utilizar las herramientas de modelado para diseñar las paredes aisladas de la cámara, asegurándose de considerar el material aislante adecuado.
3. **Ubicar Unidades de Refrigeración:** Colocar las unidades de refrigeración dentro del espacio de la cámara, asegurándose de dejar suficiente espacio para la circulación del aire.
4. **Agregar Puntos de Acceso:** Incluir en el diseño posibles puntos de acceso, como puertas o paneles desmontables, asegurándose de que estén ubicados estratégicamente para facilitar el acceso al interior de la cámara.
5. **Revisión y Ajustes:** Revisar el bosquejo preliminar para asegurarse de que cumple con los requisitos y especificaciones del diseño.

El bosquejo preliminar (ver figura 3.12) proporciona una representación inicial de la disposición y estructura general de la cámara de refrigeración, permitiendo visualizar y comunicar conceptos antes de avanzar hacia diseños más detallados y completos. Este proceso creativo es fundamental para desarrollar una solución efectiva y funcional para la refrigeración de insulina.

3.7.1. Bosquejo general del sistema: cámara frigorífica

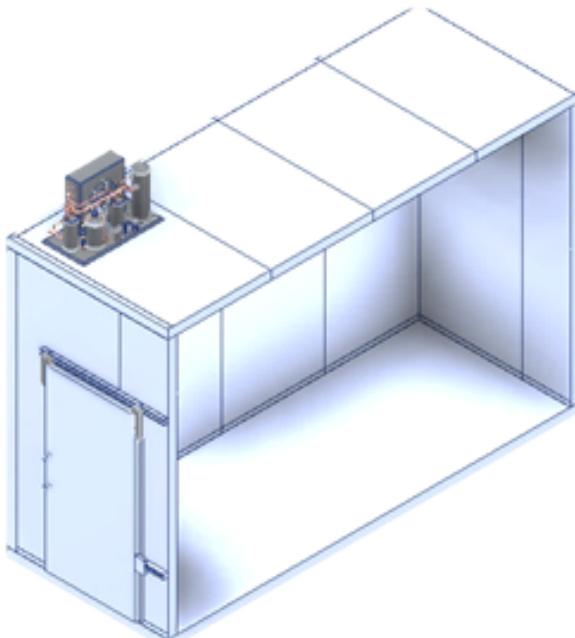


Figura 3.12: Vista frontal 3D de la cámara vacía y sus componentes esenciales

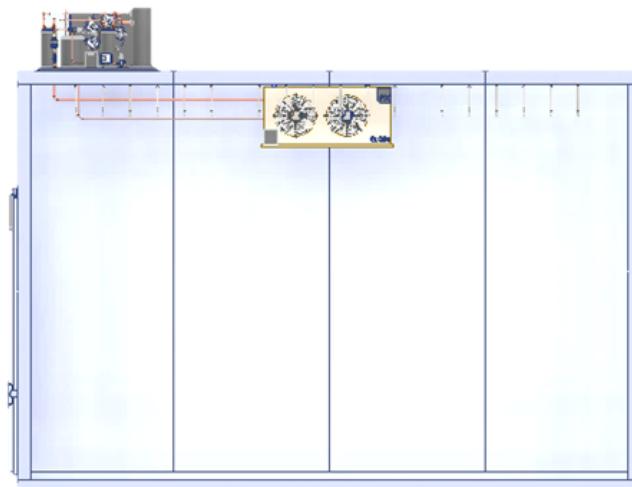


Figura 3.13: Vista lateral derecha de la cámara y sus componentes de enfriamiento

La figura 3.12 muestra el diseño desde un panorama completo y sus componentes esenciales, así mismo se muestra el espacio dentro de la cámara. Mientras que en la figura 3.13 se muestra una vista en donde puede apreciarse el sistema de enfriamiento y el sistema de tubos dentro de la cámara, más adelante se proporcionarán vistas específicas.

3.7.2. Diagrama a bloques del proceso de trabajo

Los diagramas de bloques o de flujo son herramientas visuales que permiten representar de manera clara y concisa el flujo de un proceso o sistema, así como las interacciones entre

sus diferentes componentes. (Lucidchart, 2022)

Importancia de los diagramas de bloques o de flujo:

- Claridad y comprensión.
- Identificación de problemas.
- Diseño y planificación.
- Documentación y estandarización.
- Toma de decisiones.

Vea la figura 3.14 a 3.16 para tener más detalles del proceso que se seguirá y de las condiciones que se tomarán en cuenta.

Diagrama de flujo

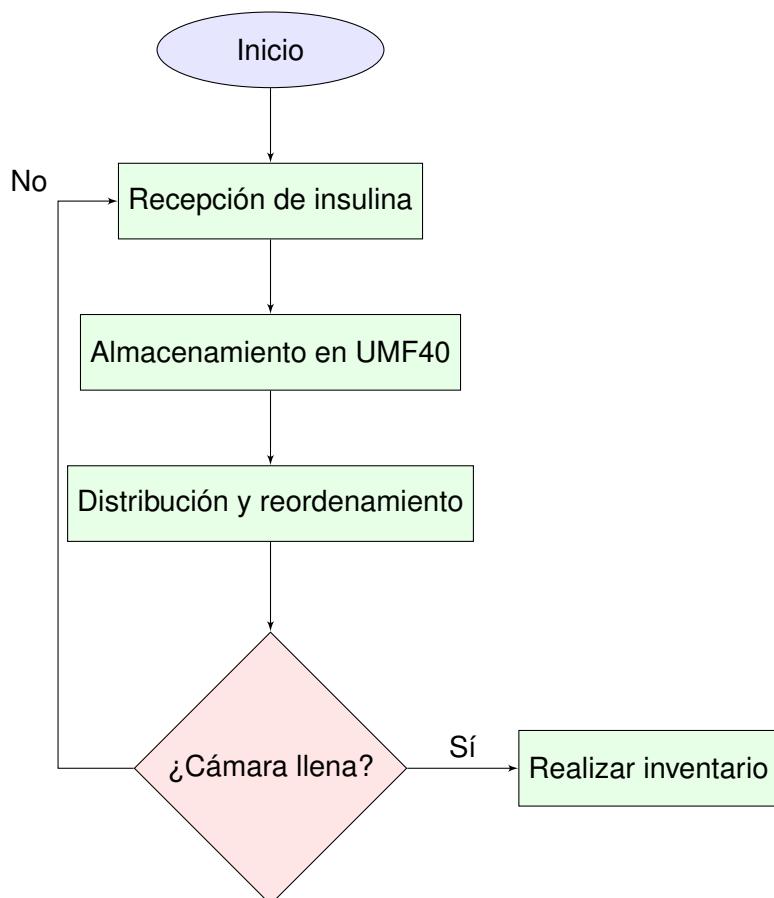


Figura 3.14: Diagrama de flujo para el proceso de gestión de insulina en una cámara frigorífica.

Fuente: Elaboración propia, basado y hecho desde \LaTeX (Tantau, 2013).

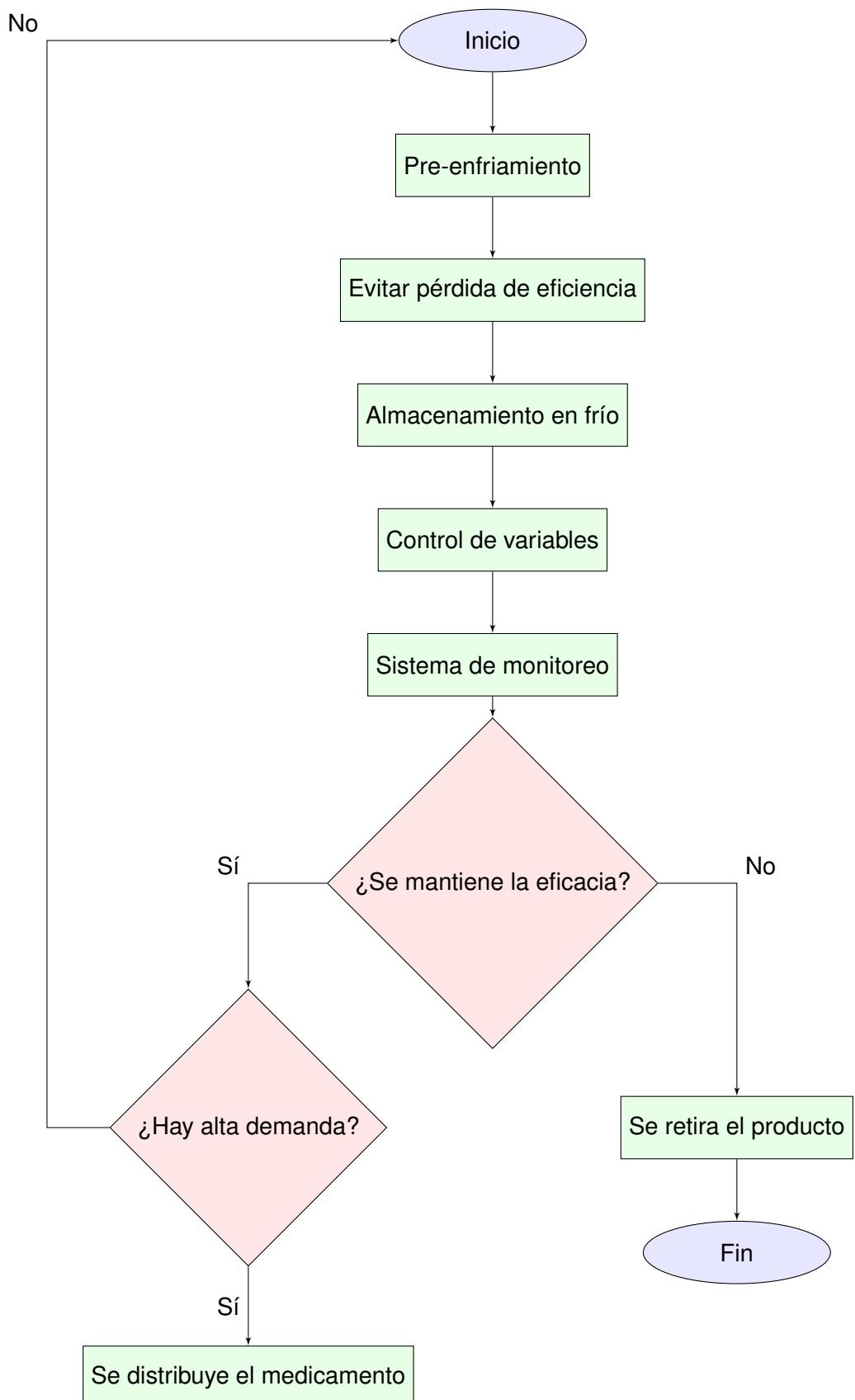


Figura 3.15: Diagrama de flujo para el proceso de gestión de insulina en una cámara frigorífica.

Fuente: Elaboración propia, basado y hecho desde \LaTeX (Tantau, 2013).

3.7.3. Diagrama de funcionamiento general de sistema

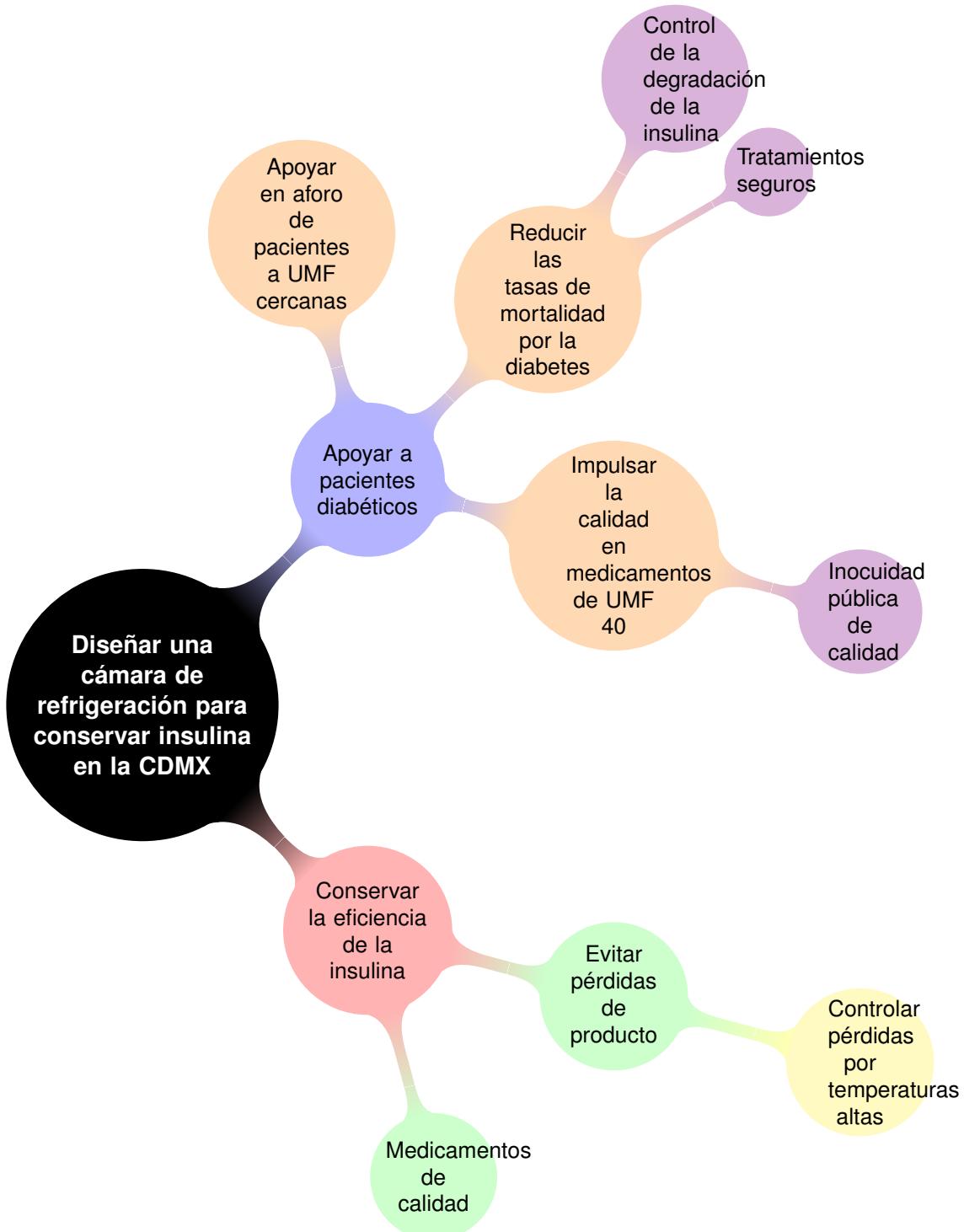


Figura 3.16: Mapa mental para el diseño de una cámara de refrigeración para conservar insulina en la CDMX.

Fuente: Elaboración propia, basado y hecho desde \LaTeX (Tantau, 2013).

3.8. Listado de partes de los componentes del sistema

En la figura 3.12 se muestran los componentes principales a trabajar y se enumeran de la siguiente forma:

1. Paneles superiores: elementos que formarán parte del techo de la cámara. (Ver figura 3.12)
2. Paneles laterales: elementos que funcionarán como paredes y contendrán la temperatura en condiciones óptimas. (Ver figuras 3.12 y 3.13)
3. Accesos: Puertas/ventanas: permitirán el control y distribución del aire dentro (Ver figura 3.17) y fuera de la cámara frigorífica.
4. Equipo de enfriamiento: elemento encargado de proporcionar frío y transmitirlo al interior del recinto frigorífico. (Ver figuras ?? y 3.22)
5. Recubrimiento lateral: Material que recubre las paredes; estos ayudarán a aislar y conservar la temperatura del recinto.
6. Recubrimiento superior: Material que recubre el techo; estos ayudarán a aislar y conservar la temperatura del recinto.

En la siguiente figura (3.17) podemos apreciar la vista frontal de la cámara en donde se contará con una puerta corrediza, con las consideraciones ya descritas con anterioridad.

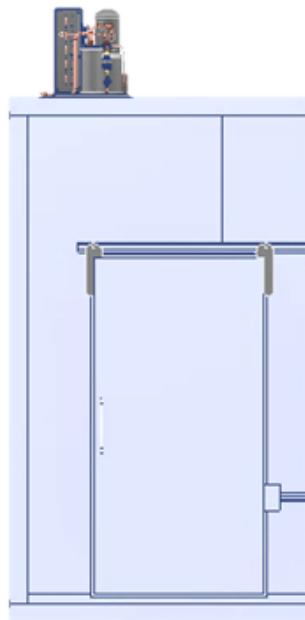


Figura 3.17: Vista frontal de la cámara.

Fuente: Elaboración propia basado de bibliocad, s.f.

3.9. Identificación del conjunto y/o subconjunto por área tecnológica

¿Cómo se relacionan entre sí los elementos componentes?

De la sección anterior (3.8) se tiene la siguiente lista de componentes principales del sistema de refrigeración a diseñar, los cuales son señalados en la figura 3.18 y descritos en la tabla 3.10

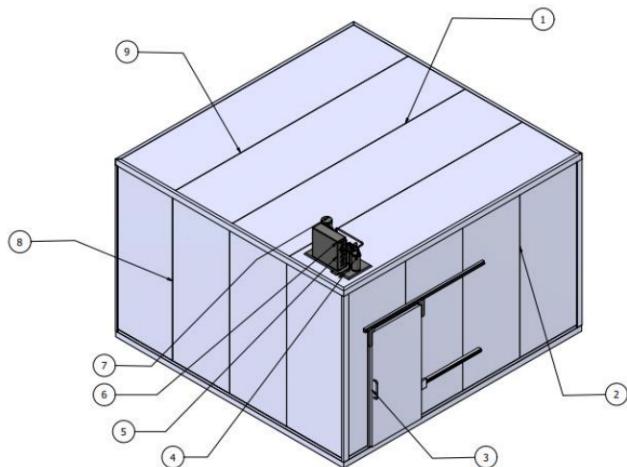


Figura 3.18: Elementos componentes principales del sistema de refrigeración a diseñar.

Fuente: Elaboración propia basado de bibliocad, s.f.

Cuadro 3.10: Identificación de elementos principales de forma general del sistema.

Número	Nombre del elemento o componente
1	Paneles superiores (techo)
2	Paneles laterales (paredes)
3	Puertas/ventanas
4	evaporador
5	condensador
6	compresor
7	Válvula de expansión
8	Recubrimiento lateral
9	Recubrimiento superior

Como se ha descrito en capítulos previos, las cámaras de refrigeración son fundamentales en la cadena de frío, especialmente para productos sensibles como la insulina, que requiere condiciones específicas de almacenamiento para mantener su eficacia y seguridad. Conocer los elementos de una cámara de refrigeración por área tecnológica es crucial para asegurar que estos medicamentos se conserven adecuadamente. A continuación, se detallan las áreas tecnológicas y la importancia de cada una en el contexto del almacenamiento de insulina.

La (Universidad de Guanajuato, 2022), describe a través de su blog (un documento en extenso) los componentes de un sistema de refrigeración tradicional los cuales han sido adaptados para el sistema del presente proyecto, se detallan en las tablas de 3.11 a 3.14.

Cuadro 3.11: Conjunto 1: Listado de componentes mecánicos/térmicos del sistema de refrigeración

Fuente: Elaboración propia basado de la Universidad de Guanajuato, 2022.

Nombre del elemento o componente	Descripción del conjunto o integración de subsistema
Compresor	El compresor es el corazón del sistema de refrigeración, esencial para mantener el refrigerante en movimiento.
Evaporador	Absorbe el calor del interior de la cámara, enfriando el aire para mantener una temperatura adecuada.
Condensador	Disipa el calor del refrigerante al exterior, ayudando a mantener una temperatura constante en la cámara.
Ventiladores	Aseguran la circulación de aire uniforme dentro de la cámara de refrigeración, evitando zonas de diferentes temperaturas.
Puertas y sellos	Mantienen la integridad de la cámara, evitando la entrada de aire caliente y humedad.
Recubrimiento térmico	Contiene la temperatura dentro de la cámara frigorífica evitando pérdidas de calor (paredes laterales y superiores).

Cuadro 3.12: Conjunto 2: Listado de componentes eléctricos y electrónicos del sistema de refrigeración

Fuente: Elaboración propia basado de Universidad de Guanajuato, 2022.

Nombre del elemento o componente	Descripción del conjunto o integración de subsistema
Termostato	Controla y monitoriza la temperatura interna de la cámara, asegurando condiciones óptimas.
Sensores de temperatura	Proporcionan lecturas precisas de la temperatura, fundamentales para el control del sistema.
Fuente de alimentación ininterrumpida	Garantiza el funcionamiento continuo durante cortes de energía, evitando fluctuaciones de temperatura.
Generador de respaldo	Proporciona energía durante apagones prolongados, asegurando el correcto funcionamiento del sistema.

Cuadro 3.13: Conjunto 3: Listado de componentes de automatización del sistema de refrigeración

Fuente: Elaboración propia basado de Universidad de Guanajuato, 2022.

Nombre del elemento o componente	Descripción del conjunto o integración de subsistema
Controlador electrónico	Regula el funcionamiento del sistema de refrigeración basado en lecturas de los sensores.
Sistema de monitoreo remoto	Permite la supervisión del sistema de refrigeración a distancia, facilitando la gestión y el mantenimiento.
Grabador de datos históricos	Registra las condiciones de temperatura a lo largo del tiempo, ayudando a mantener un registro detallado.
Sistemas de alarma	Alertan sobre cualquier desviación de la temperatura, permitiendo acciones correctivas rápidas.

Cuadro 3.14: Conjunto 4: Listado de componentes ergonómicos del sistema de refrigeración

Fuente: Elaboración propia basado de Universidad de Guanajuato, 2022.

Nombre del elemento o componente	Descripción del conjunto o integración de subsistema
Puertas de fácil acceso	Diseñadas para un acceso sencillo y seguro a la cámara.
Panel de control intuitivo	Facilita la operación del sistema, con interfaces fáciles de entender y manejar.
Iluminación interior adecuada	Proporciona una visibilidad clara dentro de la cámara, mejorando la seguridad y la eficiencia operativa.
Racks ajustables	Permiten la organización flexible del espacio de almacenamiento, optimizando el uso del espacio disponible.

3.10. Descripción de la interacción del elemento componente del sistema.

Teniendo en cuenta que para la interacción entre elementos componentes debe existir algún tipo de movimiento, ya sea por transmisión o de transformación, los cuales en un equipo de refrigeración son poco comunes, entonces, para este apartado no se describirá una lista de componentes con este enfoque.

3.11. Proceso del meta diseño de un sistema artefactual tecnológico

Para que el producto tecnológico cumpla adecuadamente su función, ¿qué partes son esenciales y cuáles no?

Se explica a continuación de acuerdo al autor (De Leon, 2017) para que una cámara de refrigeración cumpla adecuadamente su función de almacenar y conservar la insulina, es vital realizar un meta diseño detallado. Este análisis permite identificar los componentes esenciales que aseguran el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración y cuáles podrían ser prescindibles o de menor prioridad. Los componentes esenciales incluyen aquellos que directamente afectan la capacidad de mantener la temperatura adecuada, la seguridad y la estabilidad operativa del sistema.

Importancia del metadiseño

- Optimización del funcionamiento: Al entender la función de cada componente, se pueden optimizar sus características y ubicaciones para mejorar el rendimiento del sistema.
- Eficiencia energética: Identificar componentes clave ayuda a mejorar la eficiencia energética del sistema, reduciendo costos operativos.
- Fiabilidad y durabilidad: Asegurar que los componentes esenciales sean de alta calidad aumenta la fiabilidad y durabilidad del sistema.
- Costos de mantenimiento: Identificar partes no esenciales permite reducir costos de mantenimiento y reparación, enfocándose en componentes críticos.
- Seguridad y cumplimiento: Un estudio detallado asegura que el sistema cumpla con las normas de seguridad y regulaciones pertinentes.

Partes esenciales y no esenciales:

- Partes esenciales: Son aquellas cuyo fallo impactaría directamente en el funcionamiento de la cámara de refrigeración, como el compresor, el evaporador y los ventiladores.
- Partes no esenciales: Son componentes que, aunque necesarios, su fallo no detendría el sistema completo, como ciertos tornillos, pernos o elementos de soporte.

En la tabla 3.15 se retoma la información y características principales de los elementos del sistema artefactual para su correcta función.

Cuadro 3.15: Identificación de las partes esenciales de los componentes del sistema

Fuente: Elaboración propia basado de (Bohn de México, 2014)						
Número	Componente	Duradero	Cambiable o modular	o compuesto	Flexible	Selección Comercial
					Comercial	Internacional
1	Paneles superiores (techo)	15 años	cambiable	flexible	x	x
2	Paneles laterales (paredes)	15 años	cambiable	flexible	x	x
3	Puertas y ventanas	15 años	cambiable	flexible	x	x
4	Evaporador	10-12 años	modular	compuesto	x	x
5	Condensador	10-12 años	modular	compuesto	x	x
6	Compresor	10-12 años	modular	compuesto	x	x
7	Válvula de expansión	10-12 años	modular	compuesto	x	x
8	Recubrimientos (lateral y superior)	15 años	cambiable	flexible	x	x

3.12. Alternativas tecnológicas de los componentes

Evaluar alternativas tecnológicas para los componentes del sistema de refrigeración, planteando los requerimientos técnicos y mostrando las restricciones operativas y de seguridad esenciales para cada componente. A continuación se describen algunas de las características de este apartado que posteriormente se desglosa en la tabla 3.16 (Salvatore, 2015).

El autor también describe algunas restricciones que se deben considerar en el proceso de diseño de la cámara frigorífica.

- Las restricciones operativas se refieren a las limitaciones y condiciones bajo las cuales los componentes y el sistema en su totalidad deben operar de manera efectiva. Estas restricciones aseguran que el sistema funcione dentro de los parámetros óptimos, manteniendo su rendimiento y evitando fallos.
 - Condiciones Ambientales: Los componentes deben ser capaces de operar en las condiciones ambientales esperadas, como temperatura y humedad. En el caso de una cámara de refrigeración, esto incluye temperaturas extremadamente bajas y ambientes húmedos.
 - Carga y Capacidad: Los componentes deben soportar la carga y capacidad de trabajo esperadas sin sufrir daños o degradación. Esto es especialmente importante para partes mecánicas como tornillos, pernos y racks ajustables.
 - Durabilidad y Ciclo de Vida: Los componentes deben tener una durabilidad adecuada y un ciclo de vida que cumpla con los requisitos del sistema, minimizando el mantenimiento y reemplazo frecuente.
 - Compatibilidad: Los componentes deben ser compatibles entre sí y con el sistema en general, asegurando una integración efectiva y sin problemas.
- Las restricciones de seguridad son las limitaciones y requisitos destinados a proteger a los usuarios y a la integridad del sistema. Estas restricciones buscan prevenir accidentes, fallos catastróficos y daños a las personas y al medio ambiente.
 - Protección contra Fallos: Los componentes deben estar diseñados para prevenir y resistir fallos, como sobrecalentamientos, cortocircuitos y fugas. Esto es crucial para partes como compresores y fuentes de alimentación.
 - Materiales Seguros: Los materiales utilizados en los componentes deben ser seguros para el entorno en el que se utilizan, no liberando sustancias tóxicas o peligrosas. Esto incluye materiales no reactivos y seguros para alimentos.
 - Diseño a Prueba de Manipulaciones: Los componentes deben estar diseñados para prevenir manipulaciones no autorizadas o accidentales, asegurando que solo el personal capacitado pueda acceder a ellos.
 - Normativas y Regulaciones: Los componentes deben cumplir con las normativas y regulaciones de seguridad aplicables, como normas eléctricas, mecánicas y

sanitarias. Esto asegura que el sistema cumpla con los estándares legales y de calidad.

Cuadro 3.16: Alternativas tecnológicas de los componentes

Fuente: Elaboración propia, basado de (Salvatore, 2015)

Componente	Restricción operacional	Restricción de seguridad
Paneles superiores (techo)	Resistencia a la intemperie, capacidad de carga	-
Paneles laterales (paredes)	Resistencia estructural, aislamiento térmico	-
Puertas y ventanas	Estanqueidad, aislamiento térmico, resistencia a la intemperie	Seguridad contra intrusiones, bloqueo seguro
Evaporador	Temperatura de evaporación, capacidad de intercambio de calor, flujo de aire	Seguridad contra fugas, protección contra congelamiento
Condensador	Temperatura de condensación, capacidad de intercambio de calor, flujo de aire	Seguridad eléctrica, protección contra sobrecalentamiento
Compresor	Rango de operación de presión, temperatura ambiente, aceite de lubricación, eficiencia	Seguridad eléctrica, protección contra sobrecalentamiento, dispositivos de paro de emergencia
Válvula de expansión	Control de flujo de refrigerante, compatibilidad con refrigerante, ajuste de supercalentamiento y/o subenfriamiento	-
Recubrimientos (lateral y superior)	Resistencia a la corrosión, durabilidad, compatibilidad con la estructura	Seguridad contra corrosión, materiales no tóxicos

3.13. Selección de los componentes del sistema artefactual tecnológico

Cuadro 3.17: Selección de los componentes del sistema artefactual tecnológico

Fuente: Elaboración propia, basado de (Salvatore, 2015)

Componente	Función en el sistema	Criterios de selección	Funcionamiento en el subsistema
Panelles superiores (techo)	Protección estructural y resistencia al clima	Material resistente a la intemperie, capacidad de carga	Forman la envoltura exterior, protegiendo contra condiciones climáticas y proporcionando resistencia estructural.
Panelles laterales (paredes)	Protección estructural y aislamiento térmico	Material resistente, capacidad de aislamiento térmico	Proporcionan estructura al sistema y ayudan a mantener la temperatura interna mediante el aislamiento térmico
Puertas y ventanas	Acceso controlado y protección térmica	Estanqueidad, aislamiento térmico, seguridad	Permiten el acceso al sistema, aseguran la estanqueidad y contribuyen al aislamiento térmico.
Evaporador	Absorción de calor y evaporación del refrigerante	Capacidad de intercambio de calor, flujo de aire, seguridad contra fugas	Absorbe el calor del entorno, permite que el refrigerante evapore y extrae calor del espacio a enfriar.
Condensador	Disipación de calor y cambio de fase del refrigerante	Capacidad de intercambio de calor, seguridad eléctrica	Libera el calor absorbido por el evaporador al entorno, permitiendo que el refrigerante cambie de fase.
Compresor	Compresión del refrigerante y circulación en el sistema	Capacidad de intercambio de calor, seguridad eléctrica	Comprime el refrigerante, aumentando su presión y temperatura para facilitar el intercambio de calor.
Válvula de expansión	Regulación del flujo de refrigerante	Control de flujo, compatibilidad con refrigerante	Regula el flujo del refrigerante hacia el evaporador, controlando así la cantidad de refrigerante que entra al sistema.
Recubrimientos (lateral y superior)	Protección estructural y resistencia a la corrosión	Resistencia a la corrosión, durabilidad	Proporciona protección contra la corrosión y daños físicos, contribuyendo a la integridad estructural.

3.14. Informática para el control del proceso

La transición de un diseño conceptual a un diseño preliminar a nivel de componentes es una etapa crucial en el desarrollo de una cámara de refrigeración para la conservación de insulina. Su importancia se puede resumir en varios puntos clave:

1. **Clarificación de la Viabilidad Técnica:** El diseño preliminar aborda la viabilidad técnica, incluyendo la selección y especificación de los componentes, asegurando que cada uno cumpla con los requisitos de rendimiento y durabilidad necesarios.
2. **Detallado de Especificaciones Técnicas:** En el diseño preliminar se detallan las especificaciones técnicas de cada componente, como el tipo de material, las dimensiones y las tolerancias. Esto asegura que todos los componentes funcionen en armonía y cumplan con los estándares de calidad y seguridad.
3. **Evaluación de Costos y Factibilidad Económica:** Esta etapa permite una evaluación más precisa de los costos, posibilitando hacer estimaciones más realistas y optimizar la relación costo-beneficio, garantizando la viabilidad económica del proyecto.
4. **Identificación de Problemas Potenciales:** El diseño preliminar permite identificar y solucionar problemas potenciales antes de la fase de producción, ahorrando tiempo y recursos.
5. **Facilitación de la Comunicación y Colaboración:** Un diseño preliminar detallado proporciona una base común para la comunicación entre todos los involucrados en el proyecto, promoviendo una colaboración eficiente y efectiva.
6. **Preparación para la Fabricación y Ensamblaje:** Define cómo fabricar y ensamblar los componentes, asegurando la calidad y consistencia del producto final con instrucciones detalladas para fabricantes y ensambladores.
7. **Consideraciones de Ecodiseño:** Se pueden incorporar consideraciones de ecodiseño, como la selección de materiales sostenibles y la optimización de la eficiencia energética, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y ofreciendo ventajas económicas a largo plazo.

Vea los gráficos 3.19, 3.20, 3.21 y 3.22 y la tabla 3.18

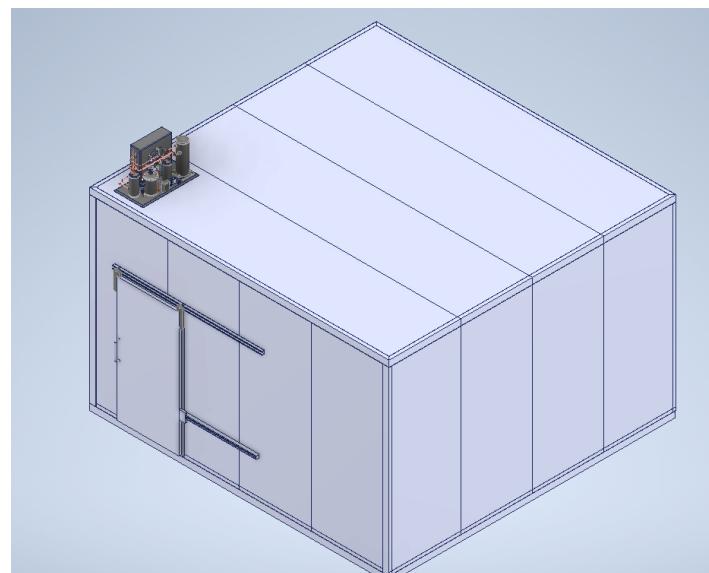


Figura 3.19: Diseño preliminar final, vista frontal

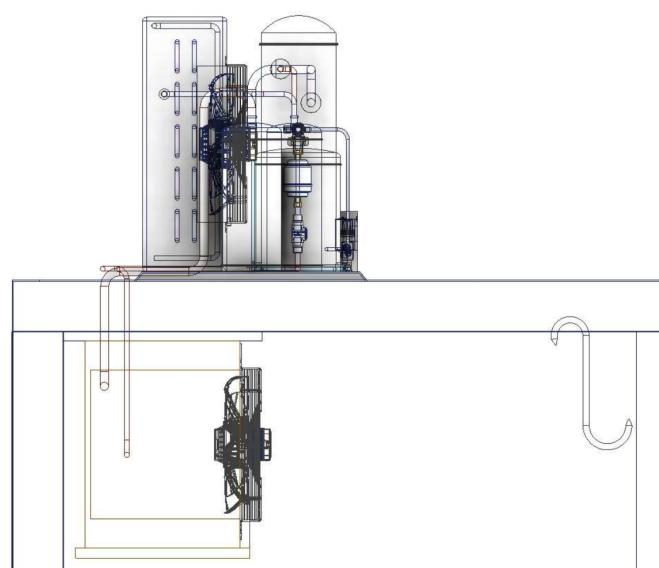


Figura 3.20: Vista de la cámara con el diseño final nivel de cableado



Figura 3.21: Sistema de ventilación
Fuente: Elaboración propia basado de bibliocad, s.f.

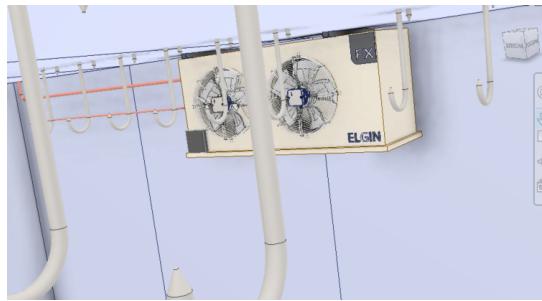


Figura 3.22: Vista interior de la cámara de refrigeración (Sistema de ventilación)
Fuente: Elaboración propia basado de bibliocad, s.f.

Consulte los anexos gráficos para ver más detalles de los planos y del diseño.

Cuadro 3.18: Elementos principales seleccionados de forma general del sistema.

Fuente: Elaboración propia basada en (Caterpillar, 2008)

Num	Nombre del componente	Material	Marca
1	Paneles superiores (techo)	Acero inoxidable con aislamiento de poliuretano	Kingspan
2	Paneles laterales (paredes)	Acero galvanizado con aislamiento de poliuretano	Metecono
3	Puertas/ventanas	Acero inoxidable con aislamiento térmico	True
4	Evaporador	Aluminio	Alfa Laval
5	Condensador	Cobre y aluminio	Emerson
6	Compresor	Acero	Copeland
7	Válvula de expansión	Latón	Danfoss
8	Recubrimiento lateral	Acero inoxidable	Kingspan
9	Recubrimiento superior	Acero inoxidable	Metecono

3.15. Conclusión

En este capítulo se han atacado los planteamientos básicos del diseño y la implementación de una cámara de refrigeración para conservar insulina en la Ciudad de México, los cuales sin duda, son procesos complejos que demandan una atención meticulosa a diversos aspectos. Además de los aspectos técnicos y logísticos, es fundamental adoptar un enfoque integral que considere las necesidades y preocupaciones de los pacientes diabéticos, así como el impacto potencial en la salud pública.

Además de garantizar la calidad y la eficacia de la insulina almacenada, es importante prestar atención a la disponibilidad y accesibilidad de la insulina para los pacientes diabéticos. Esto incluye aspectos como la distribución eficiente de los medicamentos, la gestión de inventarios y la coordinación con las unidades de atención médica para garantizar un suministro continuo y adecuado.

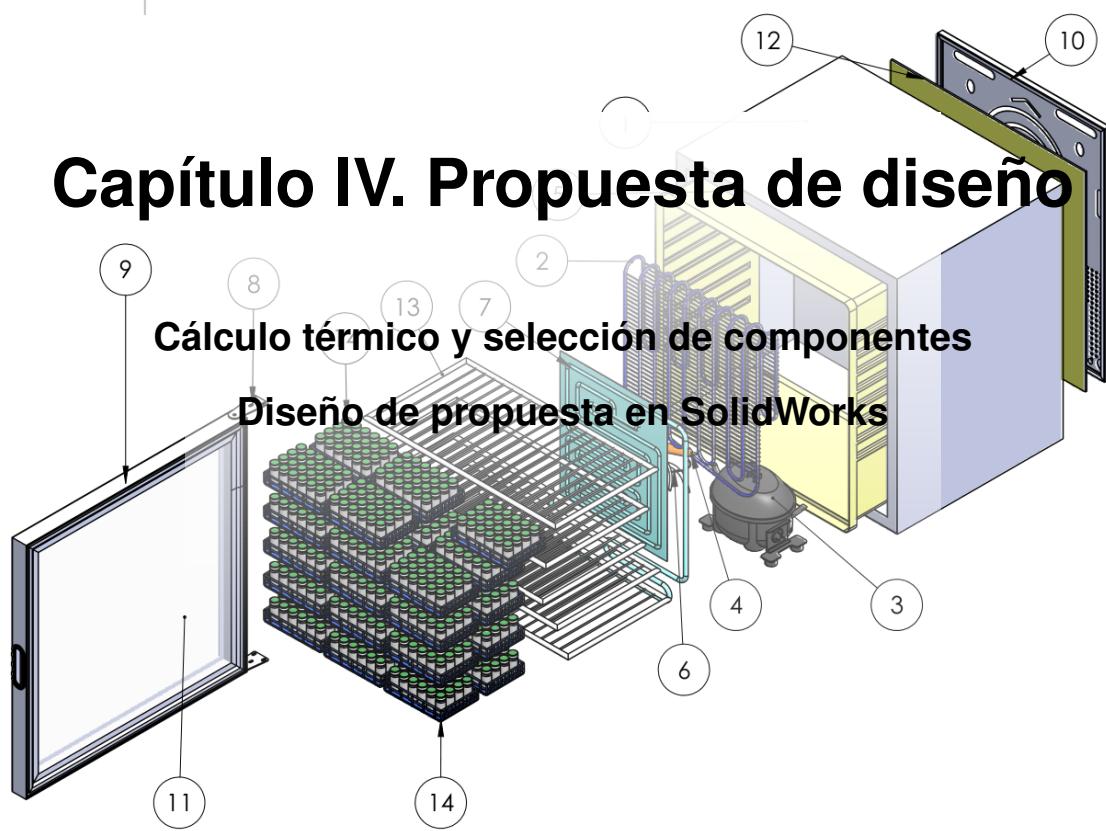
Por otro lado, conocer los planos y bosquejos preliminares es crucial para garantizar el almacenamiento seguro y eficiente de medicamentos sensibles, como la insulina. Permiten la identificación de áreas críticas, como la distribución de unidades de refrigeración, el aislamiento térmico adecuado y los sistemas de monitoreo y control de temperatura.

Adicionalmente, la selección adecuada de los materiales es esencial para asegurar la durabilidad, eficiencia y seguridad de la cámara de refrigeración. Materiales como el acero inoxidable y el aluminio no solo ofrecen resistencia a la corrosión y excelentes propiedades térmicas, sino que también contribuyen a la sostenibilidad del sistema al ser reciclables.

Finalmente, la etapa de ecodiseño es crucial para minimizar el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida de la cámara de refrigeración. Esto implica la consideración de factores como el consumo energético, la selección de materiales sostenibles y la eficiencia de los procesos de fabricación y reciclaje.

Un enfoque de ecodiseño no solo contribuye a la conservación del medio ambiente, sino que también puede generar beneficios económicos a largo plazo al optimizar recursos y reducir costos operativos.

Capítulo IV. Propuesta de diseño



Introducción

El núcleo de la investigación reside en la aplicación de la teoría físico-matemática, particularmente en los aspectos técnicos que involucran el cálculo de cada componente del sistema, así como sus parámetros fundamentales. Estos cálculos, producto de años de investigación, son esenciales para asegurar la correcta funcionalidad del equipo de refrigeración seleccionado.

Para optimizar la distribución de los elementos del sistema, se calculan las cargas térmicas con base en tablas y gráficos científicos especializados en refrigeración. Esto nos permite seleccionar el equipo adecuado y diseñar un sistema que cumpla con las necesidades específicas del proyecto. Los antecedentes del lugar donde se instalará la cámara de refrigeración proporcionan información crucial para identificar las condiciones críticas a las que estará expuesta, como la temperatura ambiente y las posibles fuentes de calor externas.

El cálculo preciso de las propiedades térmicas de la insulina y su entorno es esencial. Esto incluye no solo la temperatura de almacenamiento, sino también el material de la cámara de transporte y el acomodo óptimo del producto para minimizar la transferencia de calor desde el exterior. Estas propiedades, determinadas experimentalmente, nos proporcionan los datos necesarios para realizar los ajustes pertinentes en el diseño.

Finalmente, se realizan las modificaciones necesarias al diseño inicial, que se propuso en el capítulo III (MetaDiseño), del semestre anterior, tomando en cuenta cualquier cambio surgido durante el proceso de cálculo y distribución del equipo. El resultado es una propuesta final que se presenta con planos detallados de las dimensiones del sistema, garantizando una funcionalidad eficiente y segura para la conservación de la insulina.

En los capítulos previos se establecen las bases fundamentales para la comprensión del diseño térmico y de cámaras de conservación de insulina, así como el contexto específico del proyecto. En el **Capítulo 1**, se abordan las generalidades del diseño térmico, con especial atención a los principios físicos y matemáticos que rigen los sistemas de refrigeración, conocimientos esenciales estudiados en la *Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica* (ESIME) del *Instituto Politécnico Nacional*. El **Capítulo 2** contextualiza el proyecto, ofreciendo una visión clara sobre la necesidad y relevancia de la conservación de insulina en clínicas como la UMF 40 en Azcapotzalco. Por último, el **Capítulo 3** se enfoca en el metadiseño, donde se presentan los lineamientos y directrices que guiarán la implementación técnica del sistema de refrigeración, fundamentados en los temas estudiados en ESIME, tales como el análisis de cargas térmicas y la selección de equipos especializados.

4.1. Marco referencial

4.1.1. Normas ISO en planos de ingeniería

Basarse en normas ISO es fundamental para los proyectos de ingeniería, ya que estas normas proporcionan un marco reconocido internacionalmente que garantiza la calidad, seguridad y compatibilidad de los diseños. En particular, para el diseño de equipos de refrigeración médica, el cumplimiento de estas normas es esencial para asegurar que los sistemas funcionen de manera óptima y cumplan con los requisitos de conservación de productos sensibles, como la insulina. Las normas ISO permiten que los diseños sigan un estándar riguroso, lo que facilita la colaboración entre equipos internacionales y asegura que los productos cumplan con las exigencias de seguridad y eficacia del sector.

Norma ISO 5457 (Presentación de dibujos técnicos)

La Norma ISO 5457 es un estándar internacional que proporciona directrices para la presentación de dibujos técnicos en papel y en formato digital. Esta norma define los tamaños de papel, los márgenes, las líneas y las convenciones de representación gráfica, entre otros aspectos, con el objetivo de garantizar la legibilidad y la claridad de los dibujos técnicos (Manzanelli, 2023).

Norma ISO 6433:2012 (Documentación técnica del producto)

Esta Norma Internacional proporciona reglas para la presentación de referencias de piezas en representaciones de conjuntos. Por ejemplo, en dibujos de conjunto, para identificar las partes constituyentes en una lista de partes relacionadas (*ISO - Organización Internacional de Normalización*, 2024). También se toman las siguientes recomendaciones con el titular de la materia del proyecto 2, el Dr. Muciño, durante el curso 25/1.

1. A cada pieza del conjunto se le debe asignar una marca única que sirva como referencia del elemento. Esta marca debe diferenciarse claramente de cualquier otra indicación presente en el dibujo.
2. Los elementos idénticos dentro de un conjunto deben identificarse con la misma referencia, y si no hay riesgo de ambigüedad, se mencionarán únicamente una vez.
3. En caso de que existan grupos de elementos, cada subconjunto debe recibir una referencia única que lo identifique.
4. Cada referencia debe estar conectada visualmente con el elemento correspondiente mediante una línea de referencia, que se extienda desde la marca hasta un punto o una flecha, de acuerdo con los principios generales de representación gráfica establecidos en los dibujos técnicos.
5. Las referencias deben colocarse de manera que garanticen la máxima claridad y legibilidad del dibujo, preferiblemente organizadas en filas y columnas alineadas.
6. El orden para numerar las referencias debe seguir un criterio definido, como por ejemplo:
 - Orden de montaje posible.
 - Orden de importancia de los elementos.
 - Cualquier otro criterio lógico que se ajuste a las necesidades del diseño.

ISO 7573:2008 (Listas de piezas):

La norma ISO 7573:2008 establece los requisitos mínimos que deben cumplir las listas de piezas para proporcionar la información necesaria, por ejemplo, para la producción, la adquisición o el mantenimiento de las piezas. Abarca tanto las listas de piezas manuales como las generadas por ordenador.

4.2. Propuesta solución

Considerando el objetivo del proyecto, que se centra en el almacenamiento para la conservación de insulina, partimos de la necesidad de la Unidad de Medicina Familiar (UMF 40) y de las clínicas ubicadas en un radio de 1 kilómetro, para garantizar el abastecimiento de este medicamento en la alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México. Actualmente, la UMF 40 cuenta con una sola cámara de refrigeración, diseñada según los estándares de los principales fabricantes en el mercado de la refrigeración médica. Sin embargo, esta cámara se utiliza para almacenar al menos tres tipos de medicamentos, lo que genera problemas relacionados con la seguridad y eficiencia en el manejo de los mismos. Por tanto, el propósito del proyecto es realizar un cálculo preciso de la carga energética y térmica, considerando todos los factores que pueden influir en la localización, recepción y manejo del medicamento. Esto permitirá asegurar un óptimo funcionamiento del equipo, reducir el consumo energético y evitar la adquisición de equipo innecesario, garantizando la calidad y efectividad de la insulina antes de su administración.

Las dimensiones de la Cámara Frigorífica fueron tomadas de acuerdo con la demanda, espacio disponible en el área de farmacia y flujo de recepción del producto que se presenta a los pacientes de la alcaldía. La insulina llega en cajas de plástico por paquetes, donde estás pasan un proceso de control de calidad y sanidad por personal especializado de la UMF 40, después se montan en charolas o plásticos comunes y corrientes (una mala práctica que se planea erradicar), con el fin de distribuir el medicamento en algún compartimento del refrigerador libre y etiquetar el medicamento de acuerdo a los lineamientos del hospital regidos por el IMSS.

La distribución de la cámara de refrigeración se detalla en la figura 4.1. El contenedor del refrigerador está adaptado con láminas compuestas de poliuretano (película interna f_i - Poliuretano - película externa f_e) en las cuatro paredes, con el objetivo de minimizar la pérdida de temperatura por transferencia térmica a través de las superficies. Esta aislación contribuye a evitar el uso de ventiladores, mejorando la eficiencia energética en las etapas iniciales del funcionamiento.

En la parte posterior de la cámara se integra la unidad de refrigeración, cuya función es proteger los componentes del sistema. Esta unidad alberga los elementos principales, como el compresor, el condensador y el dispositivo de expansión, que están conectados directamente al evaporador. El evaporador está situado en el interior de la cámara y conectado al serpentín, cuya función es asegurar una mejor distribución del refrigerante dentro de la cámara, lo que permite una disipación de calor más eficiente y uniforme.

Además, la cámara está equipada con diversas tapas y una cubierta de cristal, diseñadas para mantener el medicamento en condiciones óptimas de almacenamiento.

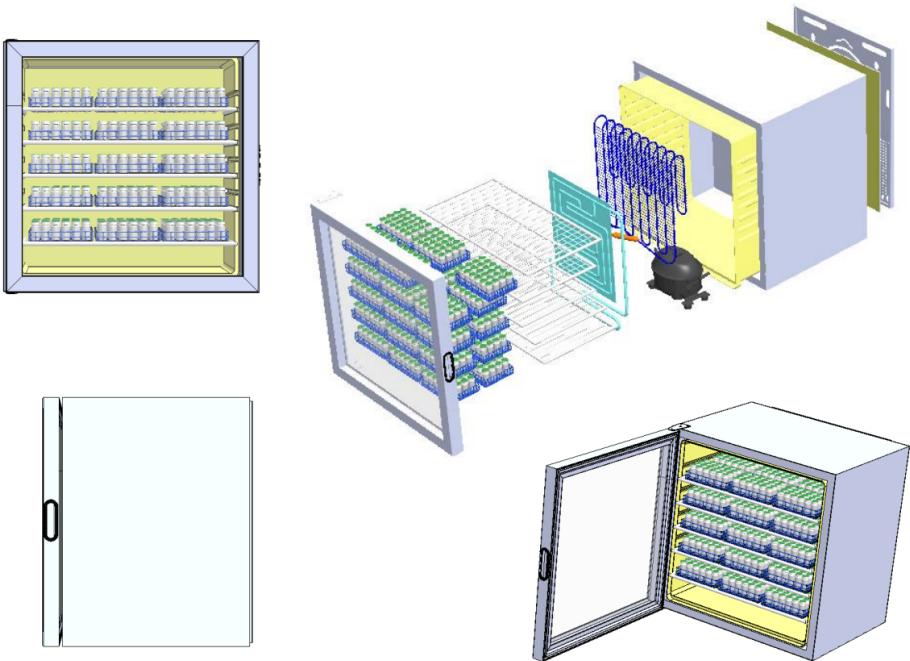


Figura 4.1: Vistas de la cámara de refrigeración.
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

Unidad de refrigeración

Como se muestra en la figura 4.2, se ha dispuesto que la unidad de refrigeración se ubique en la parte trasera y exterior de la cámara de refrigeración. Esta elección es fundamental, ya que la unidad genera calor durante su operación, lo que, de no estar adecuadamente posicionada, podría elevar la temperatura interna de la cámara. Tal incremento de temperatura es crítico, ya que puede comprometer la integridad y efectividad de la insulina, que requiere condiciones específicas de almacenamiento para garantizar su estabilidad y seguridad.

La unidad de refrigeración alberga componentes esenciales del sistema, como el condensador, el compresor y la válvula de expansión. Cada uno de estos elementos desempeña un papel crucial en el ciclo de refrigeración. El compresor, por ejemplo, es responsable de comprimir el refrigerante, aumentando su presión y temperatura, mientras que el condensador permite que el refrigerante se enfrie y se condense, liberando el calor hacia el ambiente. La válvula de expansión regula el flujo del refrigerante hacia el evaporador, donde se produce la refrigeración efectiva del aire dentro de la cámara.

La adecuada ubicación y el funcionamiento eficiente de esta unidad son vitales para mantener un ambiente controlado en el interior de la cámara, garantizando así que la insulina se conserve en condiciones óptimas, protegiendo su eficacia y, en última instancia, la salud de los pacientes que dependen de este tratamiento.

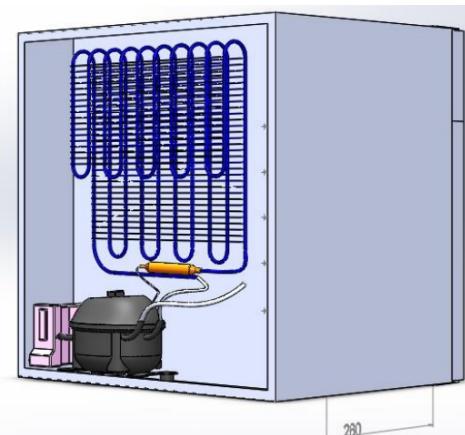


Figura 4.2: Unidad de refrigeración.

Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

Evaporador

En la figura 4.3, el evaporador del sistema se ubica en la parte interior de la cámara, proporcionando un espacio de almacenamiento adecuado y una posición estratégica que optimiza su rendimiento. El evaporador está diseñado con un serpentín que se seleccionará en función de varios factores, como la carga térmica esperada, el tipo de refrigerante utilizado y las características específicas de la insulina a conservar.

Dado que la cámara tiene dimensiones de $60 \times 60 \times 51.2$ centímetros, es fundamental considerar aspectos como el flujo de aire interno y la distribución térmica. La selección del serpentín garantizará una transferencia de calor eficiente y uniforme, minimizando las zonas frías o calientes que podrían afectar la integridad del producto. Además, en los cálculos de secciones posteriores se considera, la capacidad del evaporador para manejar la carga térmica en función de la cantidad y tipo de insulina almacenada, así como las condiciones ambientales externas propias de la Alcaldía.

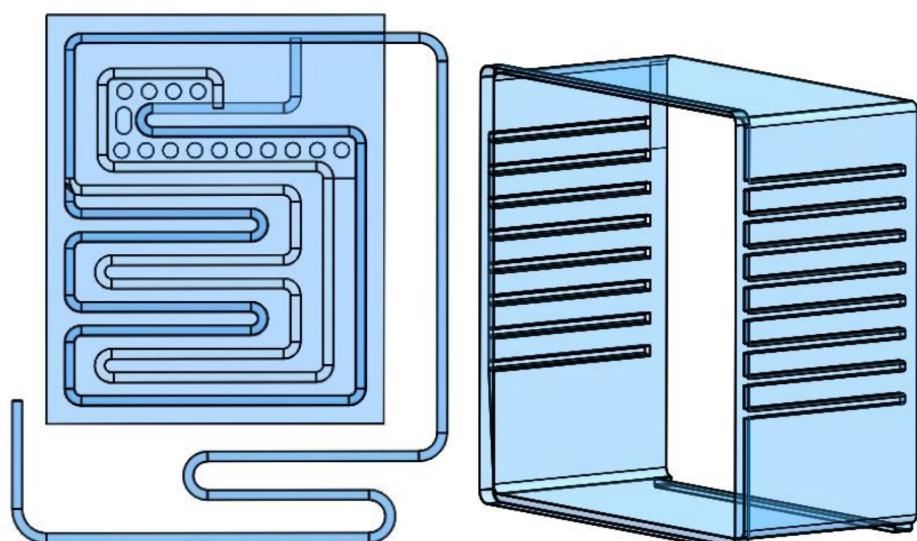


Figura 4.3: Vistas del evaporador (serpentín).

Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

Serpentín del condensador

El serpentín del condensador de la figura 4.4, es una parte fundamental del sistema de refrigeración, cuya función principal es la de disipar el calor absorbido por el refrigerante durante su ciclo de compresión. En el contexto de la conservación de insulina, la correcta operación del serpentín es crítica para mantener la temperatura interna de la cámara en niveles óptimos. El serpentín del condensador se ubica en la parte externa de la cámara de refrigeración para asegurar que el calor no regrese al compartimento donde se almacena la insulina.

Una mala selección o una disposición ineficiente del serpentín podría resultar en una refrigeración inadecuada, generando fluctuaciones de temperatura que comprometerían la estabilidad del medicamento. Mantener una temperatura constante es crucial para la preservación de la insulina, ya que cambios bruscos pueden degradar su eficacia.

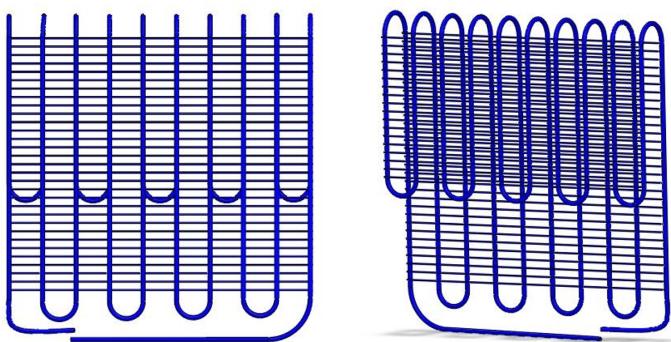


Figura 4.4: Vista del serpentín del condensador
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks .

Compresor

En la figura 4.5, el compresor del sistema se localiza en la parte externa de la cámara de refrigeración, siendo una de las piezas clave para el funcionamiento eficiente del sistema. Este componente es responsable de aumentar la presión del refrigerante, permitiendo su circulación a través del sistema de refrigeración y garantizando que el evaporador reciba el refrigerante en condiciones óptimas.

Para la selección del compresor, se tomarán en cuenta varios factores, tales como la carga térmica requerida para conservar la insulina, la eficiencia energética y el tipo de refrigerante utilizado. Es esencial que el compresor cuente con la capacidad suficiente para manejar la carga térmica, asegurando un funcionamiento constante y eficiente, especialmente considerando las variaciones de temperatura en la Alcaldía de Azcapotzalco.

Además, se evaluará la compatibilidad del compresor con el sistema de control de temperatura de la cámara, ya que un control adecuado es crucial para mantener las condiciones óptimas para la conservación de la insulina. La elección de un compresor eficiente no solo contribuirá a un menor consumo energético, sino que también asegurará la integridad y efectividad del medicamento almacenado.

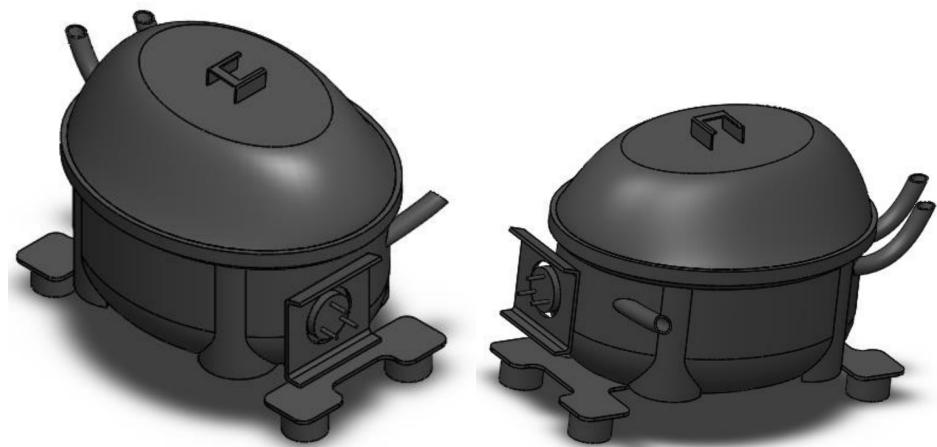


Figura 4.5: Vistas del compresor.
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks .

Válvulas de expansión

En la figura 4.6 se muestra la válvula de expansión de nuestro sistema, éstas válvulas juegan un rol indispensable en el sistema de refrigeración, ya que controlan el flujo de refrigerante hacia el evaporador, permitiendo que el refrigerante se expanda y disminuya su temperatura antes de entrar en contacto con la cámara interna. En este caso, la válvula de expansión debe estar calibrada con precisión para mantener la temperatura estable en el rango adecuado para la conservación de insulina, que como ya sabemos está típicamente entre 2 °C y 8 °C.

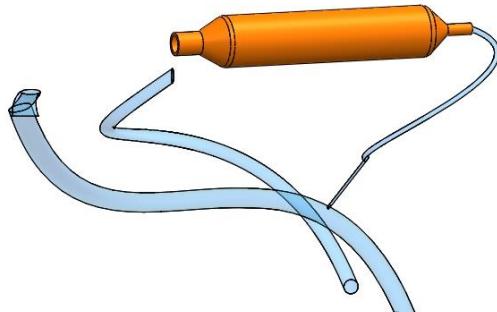


Figura 4.6: Vista de las válvulas de expansión
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks .

4.2.1. Esquema de bloques del funcionamiento del sistema

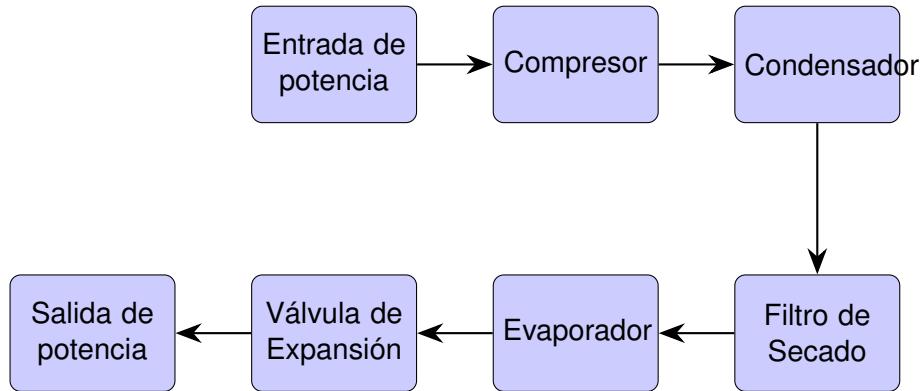


Figura 4.7: Esquema de bloques del funcionamiento del sistema.

Fuente: Elaboración propia usando Tikz.

Este esquema, figura 4.7, ilustra el funcionamiento de un sistema de refrigeración, mostrando cada uno de los componentes clave y su rol en el proceso. A continuación, se explica cada etapa:

1. Entrada de potencia: Es la fuente de energía que alimenta el sistema. En la mayoría de los casos, esta energía es eléctrica, aunque en algunos sistemas puede ser mecánica. Es necesaria para que todos los componentes del sistema funcionen correctamente.
2. Compresor: Este componente es esencial, ya que comprime el refrigerante (que en este caso suele ser un gas). Al comprimirlo, aumenta tanto la presión como la temperatura del gas, lo que es fundamental para los pasos siguientes del ciclo.
3. Condensador: Una vez que el refrigerante ha sido comprimido, el condensador se encarga de disipar el calor del refrigerante caliente. El calor se libera hacia el exterior del sistema y, al perder calor, el refrigerante cambia de estado, pasando de gas a líquido.
4. Filtro de secado: Este pequeño pero importante componente tiene la tarea de eliminar cualquier traza de humedad o impureza del refrigerante líquido. Esto es vital, ya que la presencia de humedad podría dañar otros componentes del sistema, como la válvula de expansión.
5. Evaporador: Este es el componente donde ocurre la verdadera refrigeración. El refrigerante frío se evapora dentro del evaporador, absorbiendo el calor del área que necesita ser enfriada. Aquí, el refrigerante cambia nuevamente de líquido a gas.
6. Válvula de expansión: Una vez que el refrigerante ha sido filtrado, la válvula de expansión regula el flujo de refrigerante que entra al evaporador. Además, reduce la presión del refrigerante, lo que hace que se enfríe aún más antes de llegar al evaporador.
7. Salida de potencia: Representa la energía térmica que el refrigerante ha absorbido

del espacio enfriado y que será liberada cuando el ciclo comience de nuevo en el compresor. El proceso es cíclico y continuo, manteniendo así la refrigeración estable.

4.3. Antecedentes

En esta sección del capítulo, se presenta la base teórica de los cálculos realizados, destacando las observaciones clave del proceso de análisis y selección de los parámetros más adecuados. Además, se ofrece un resumen de los manuales utilizados como referencia para los cálculos, proporcionando un contexto claro y justificado para las decisiones tomadas.

Como se describió en la sección ??, el contexto geográfico es fundamental para el análisis del balance térmico o energético.

4.3.1. Ubicación

Tomando en cuenta que para lograr un alto rango de efectividad es necesario considerar las condiciones críticas de cualquier parámetro relevante, en este proyecto la ubicación geográfica juega un papel fundamental. En particular, se toma como referencia el Pueblo de Santa Bárbara, en la alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México. Las figuras ?? a ?? muestran tanto la ubicación geográfica como las condiciones climáticas del área, las cuales se resumen a continuación (ver también el mapa general en la figura ??):

- Temperatura de bulbo seco: 25 °C (77 °F)
- Temperatura de bulbo húmedo: 20 °C (68 °F)
- Altitud: 2,240 msnm
- Presión atmosférica: 1,023 Pa (1 atm)



Figura 4.8: Mapa de localización del municipio Santa Bárbara Azcapotzalco en la Ciudad de México.

(SEMOVI, 2024)

4.3.2. Tipo de producto

Insulina

De acuerdo a la información recabada en la visita a la unidad 40 del IMSS se sabe que a los

pacientes diabéticos se les proporciona dos tipos de insulina para su tratamiento, **Humalog** **Insulina Lispro** Figura 3.1 e **Insulina Lantus** Figura 3.2, este par de medicamentos se suministran directamente por parte del gobierno por lo que la logística del proceso en la cadena de suministro está debidamente regulada. Además visite las tablas 3.1 y 3.2 para más detalles descritos del producto. Un resumen de dicha información se muestra en 4.1

Condiciones del producto a refrigerar.

Cuadro 4.1: Condiciones del producto

Fuente: Elaboración propia, tomando datos directamente en la UMF.40

Producto	Condiciones de almacenamiento		
	Temp. Almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Vida aprox. (días)
Insulina	2 - 8 (3)	35 - 70 (40)	28 (antes de abrir)
Producto		Condiciones de almacenamiento	
		CPB	CPA
Insulina		Btu/lb °F	Btu/lb °F
		1	0.35
		HL	Btu/lb
			0.2006

4.3.3. Temperatura del diseño de almacenaje

En todos los procesos de refrigeración, es fundamental centrarse en el producto que requiere conservación, ya que nuestro principal objetivo es asegurar que se mantenga a la temperatura adecuada. Por lo tanto, es crucial contar con información cuantitativa y cualitativa precisa sobre las condiciones óptimas de almacenaje de dicho producto para garantizar su integridad y eficacia.

Temperatura de almacenamiento de la Insulina

De acuerdo con los proveedores CIMA Agencia Española, (2015) y CIMA Agencia Española,(2006), la temperatura de almacenamiento de la insulina es un aspecto para garantizar su calidad y eficiencia a cada paciente. En los centros de distribución y almacenaje, se conservan en el refrigerador a una temperatura de 2.7 °C, y en las farmacias para su distribución directa al paciente deben conservar una temperatura entre 2 °C - 8 °C, visite los cuadros resumen de cada marca, Humalog (3.1) y Lantus (3.2).

4.3.4. Tipo de empaque para su almacenaje

Durante una entrevista realizada con el personal médico de la UMF 40, se obtuvo información sobre el manejo de insulina en el área de distribución y almacenamiento de la farmacia de la unidad. El medicamento se transporta en cajas que contienen un número determinado de frascos, según la marca, donde cada caja incluye una cantidad específica de dosis de insulina. Debido a su alta ergonomía, se han considerado charolas de almacenamiento que facilitan la organización de las dosis sin su empaque original. Este

arreglo no solo optimiza el espacio disponible, sino que también permite una manipulación más ágil, especialmente en situaciones extraordinarias, como desastres naturales o fallas en los equipos de refrigeración. En la tabla 4.2 se presentan los detalles de las charolas utilizadas para dicho almacenamiento, en breve, se usarán parrillas de acero inoxidable con charolas de plástico, que está compuesta de polietileno de alta densidad, con las dimensiones que se describen a continuación.

4.3.5. Capacidad de almacenaje

Cuadro 4.2: Datos de capacidad y dimensiones de los empaques de almacenaje

Fuente: Elaboración propia

Tipo de empaque para su almacenaje	Capacidad neta (kg)	Dimensiones (cm)
Unidad de charolas	2.5 kg	20 x 20 x 3
30 charolas	75 kg	60 x 60 x 52

Se tomará en cuenta para la Cámara frigorífica un arreglo de 5 parrillas, cada parrilla tendrá 6 charolas, cada una con 2.4 kg de insulina más 100 gramos del peso de la charola, lo que equivale a 15 kg por parrilla, así entonces se tiene un total de 75 kg y 720 frascos.

$$\text{Número de charolas} = \frac{75\text{kg}}{2.5\text{kg}} = 30\text{charolas} \quad (4.49)$$

$$\text{Número de charolas por tarima} = \frac{30 \text{ charolas}}{5 \text{ tarimas}} = 6\text{charolas por tarima}$$

El fabricante nos recomienda que el apilamiento debe contener 30 kg como máximo y de acuerdo a los cálculos realizados, se está dentro de lo permitido.

4.3.6. Flujo de recepción

Hablando de un producto a refrigerar de la manera más eficiente, el caso más optimo a considerar es colocar todo el producto en el tiempo más corto posible. Flujo de recepción: 225 Kg / Día, en 3 visitas del centro de distribución del gobierno mexicano.

4.3.7. Planos y diagramas

El acomodo de las charolas puede realizarse de distintas formas. Sin embargo, es fundamental garantizar que estén colocadas de manera estable, evitando que se vuelquen o desplacen durante la administración o distribución a los pacientes. Por esta razón, se sugiere distribuirlas de forma uniforme sobre la superficie de la parrilla. A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se apilan las charolas llenas de frascos de insulina, colocadas una sobre otra sin dejar espacios entre ellas, tal como se muestra en la figura 4.9.

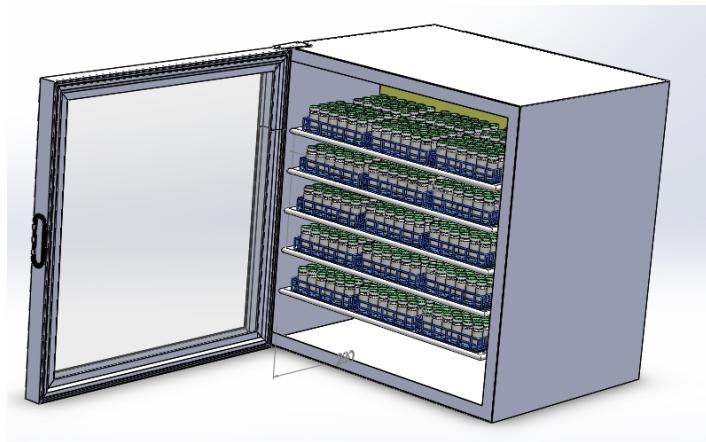


Figura 4.9: Vista frontal de la cámara de refrigeración llena de la insulina.
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks .

En la figura 4.10 se muestran las vistas laterales del acomodo de las charolas dentro de la cámara de refrigeración .

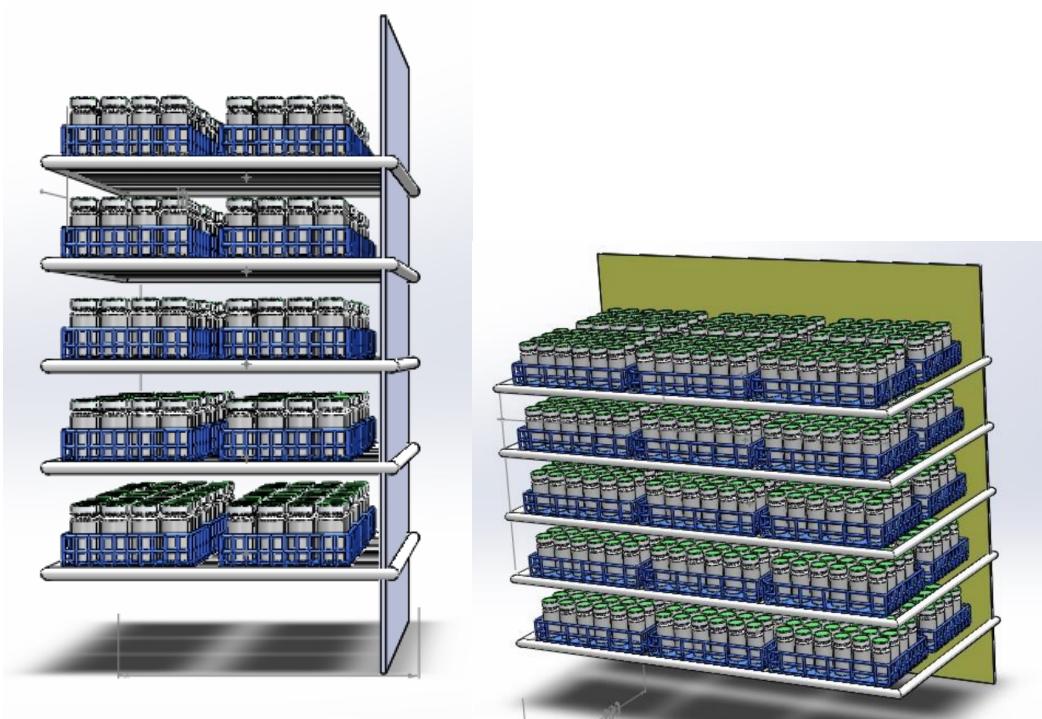


Figura 4.10: Vistas laterales de la insulina acomodada dentro de la cámara.
Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks .

En la figura 4.11, vemos otra vista del arreglo de las charolas dentro de la cámara de refrigeración.

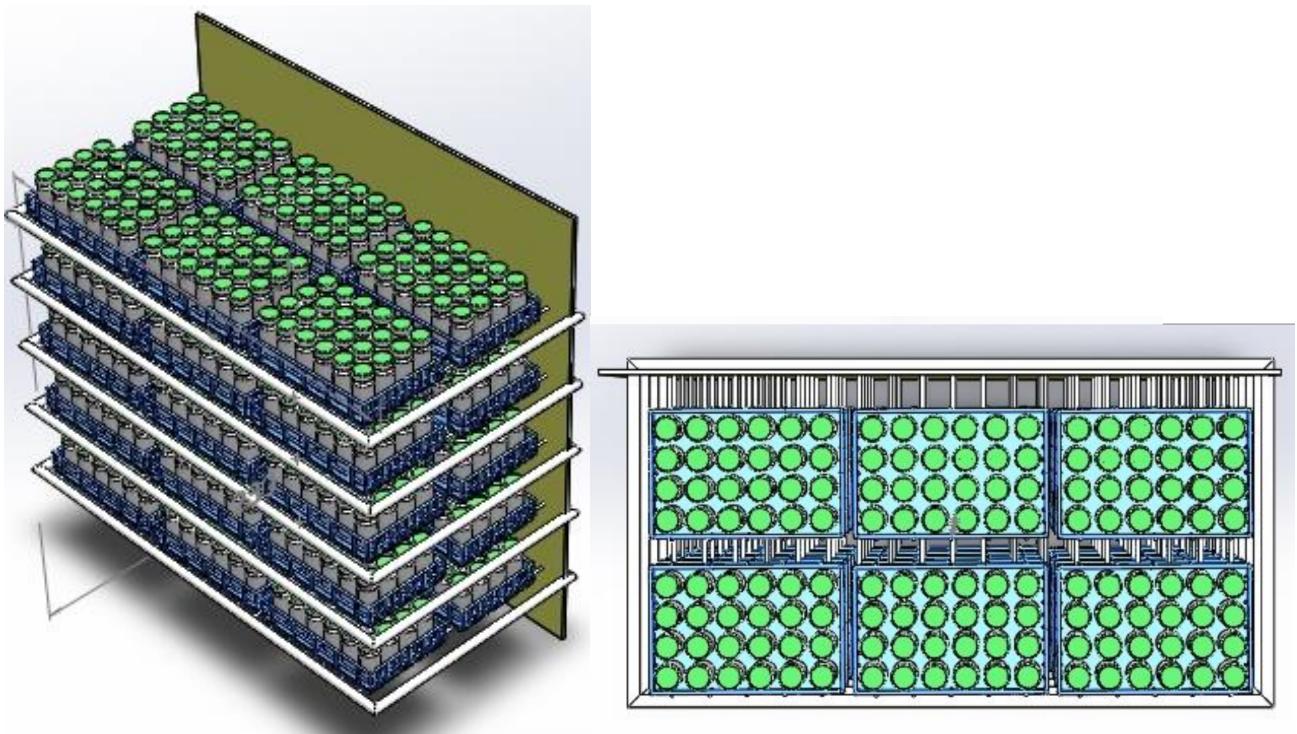


Figura 4.11: Vista superior de la cámara de refrigeración llena.

Fuente: Elaboración propia usando SolidWorks.

4.3.8. Tipo de aislamiento térmico

Algunos de los factores clave a considerar en la selección del aislamiento térmico incluyen su frecuencia de uso, área de aplicación, costo, eficiencia y el espacio que ocupará. Dado estos parámetros, el poliuretano expandido se presenta como una opción ideal, ya que cumple con los requisitos mencionados de manera eficiente. En la tabla 4.3 se presenta un resumen comparativo de los datos de diversos aislantes térmicos disponibles en el mercado. El frigerante a utilizar para la conservación de insulina dentro de la cámara de refrigeración, una opción recomendada será el **R-142b** o **R-600a**. Ambos refrigerantes son eficientes, seguros y adecuados para sistemas de refrigeración médica que requieren un control preciso de la temperatura. El R-600a es una opción más ecológica, ya que tiene un bajo impacto ambiental y no daña la capa de ozono, mientras que el R-142b es comúnmente utilizado en aplicaciones médicas por su estabilidad y rendimiento.

Cuadro 4.3: Conductividad térmica del aislamiento de cámaras frigoríficas

Fuente Fuente: Extraído del manual de Fundamentos (AHSRAE,1967).

Aislamiento	Conductividad térmica (k , $Btu in/h ft^2 F$)
Tablero de poliuretano (R-11 expandido)	0.16 a 0.18
Polisocianurato celular (R-141b expandido)	0.19
Poliestireno extruido (R-142b)	0.24
Poliestireno expandido (R-142b)	0.26
Tablero de corcho	0.30
Vidrio espumado	0.31

4.4. Balances de carga térmica

Tomando como referencia las tablas de datos mostrados en las tablas, 4.1 y 4.3 calcularemos la carga térmica total que estará abatiendo la cámara frigorífica.

4.4.1. Condiciones exteriores de diseño:

$$\begin{aligned} T_{BS} &= 25^{\circ}C[77^{\circ}F] \\ T_{BH} &= 20^{\circ}C[68^{\circ}F] \\ H_R &= 90\% \end{aligned} \quad (4.50)$$

$$T_{almacenamiento} = T_{alm} = 3^{\circ}C[37.4^{\circ}F]$$

4.4.2. Aislamiento térmico: Poliuretano expandido

Tomando en consideración la aplicación del poliuretano expandido, que es el principal aislante térmico en consideración la refrigeración de productos médicos,

$$\begin{aligned} k &= 0.16 \frac{BTU \cdot pulg}{ft^2 \cdot hr \cdot ^{\circ}F} \\ e &= \left(\frac{1}{5}\right) \Delta T = \left(\frac{1}{5}\right) (T_{BS} - T_{alm}) \\ &= \left(\frac{1}{5}\right) \times (25 - 3)^{\circ} = 4.4cm \\ &= 4.4cm \times \frac{1 \text{ in}}{2.54cm} = 1.732283 \text{ in} \\ \therefore e &= 1.74 \text{ in}, \text{ para cálculo máximo} \end{aligned} \quad (4.51)$$

4.4.3. Coeficiente de película

Este coeficiente de película es considerado con el manual de ASHRAE, gracias a los estudios cualitativos del comportamiento de los factores de calor por convección en condiciones promedio.

$$\begin{aligned} h_i &= 1.6 \frac{BTU}{pie^2 \cdot hr \cdot ^{\circ}F} \\ h_e &= 6 \frac{BTU \cdot pulg}{pie^2 \cdot hr \cdot ^{\circ}F} \end{aligned} \quad (4.52)$$

Coeficiente de transferencia de calor

Para las áreas de las paredes de la cámara frigorífica, se propone una tabla específica las áreas largas, cortas, piso y techo, observe la figura 4.12 para detalles de la ecuación.

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{e_{lamina}}{k_{lamina}} + \frac{e_{poliuretano}}{k_{poliuretano}} + \frac{e_{lamina}}{k_{lamina}} + \frac{1}{f_e}} \\ U &= \frac{1}{\frac{1}{f_i} + \frac{2e_{lamina}}{k_{lamina}} + \frac{e_{poliuretano}}{k_{poliuretano}} + \frac{1}{f_e}} \end{aligned} \quad (4.53)$$

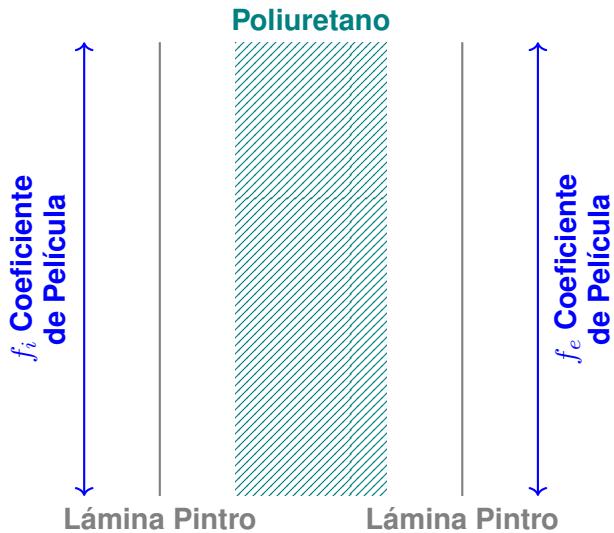


Figura 4.12: Pared Compuesta propuesta para la cámara frigorífica
Fuente: Elaboración propia usando \LaTeX y Tikz

4.4.4. Cálculo térmico de las paredes

Cálculo de áreas

Se hará el cálculo de las áreas superficiales de cada elemento que mantiene almacenado el producto a transportar, tomando por supuesto las áreas superficiales exteriores como el punto de partida de dicho calculo.

$$\begin{aligned}
 \text{Norte: } A_n &= l \times h = 0.6 \text{ m} \times 0.512 \text{ m} = 0.3072 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = 3.299 \text{ ft}^2 \\
 \text{Sur: } A_s &= l \times h = 0.6 \text{ m} \times 0.512 \text{ m} = 0.3072 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = 3.299 \text{ ft}^2 \\
 \text{Oriente: } A_o &= l \times h = 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} = 0.36 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = 3.867 \text{ ft}^2 \quad (4.54) \\
 \text{Poniente: } A_p &= l \times h = 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} = 0.36 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = 3.867 \text{ ft}^2 \\
 \text{Piso y Techo: } A_{pt} &= l \times h = 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} = 0.36 \text{ m}^2 \times \frac{10.76 \text{ ft}^2}{1 \text{ m}^2} = 3.867 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Nota: Abatir carga térmica en un periodo de 22 horas, este parámetro fue seleccionado por dos razones en el planteamiento del problema, primero, el producto llega a temperatura ideal "de distribuidor, así que no se retirará carga térmica de calor latente, entonces, la capacidad o riesgo de falla, es casi nula, y por último el segundo factor, fue tomar en consideración que entre más rápido se necesite abatir una carga térmica, más grande tendrá que ser el dispositivo.

Transmisión de calor en paredes, pisos y techo

Para este cálculo es necesario consultar la ecuación 4.53 el cual nos indica un coeficiente a considerar con los parámetros tanto de calor por convección, y el factor del aislante térmico.

$$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{1.6}\right) + \left(\frac{2 \times 0.017}{30.04}\right) + \left(\frac{1.74}{0.17}\right) + \left(\frac{1}{6}\right)} = 0.0808 \frac{BTU}{ft^2 \cdot hr \cdot ^\circ F} \quad (4.55)$$

De manera que en la figura 4.13 se resumen los valores de los coeficientes de transferencia.

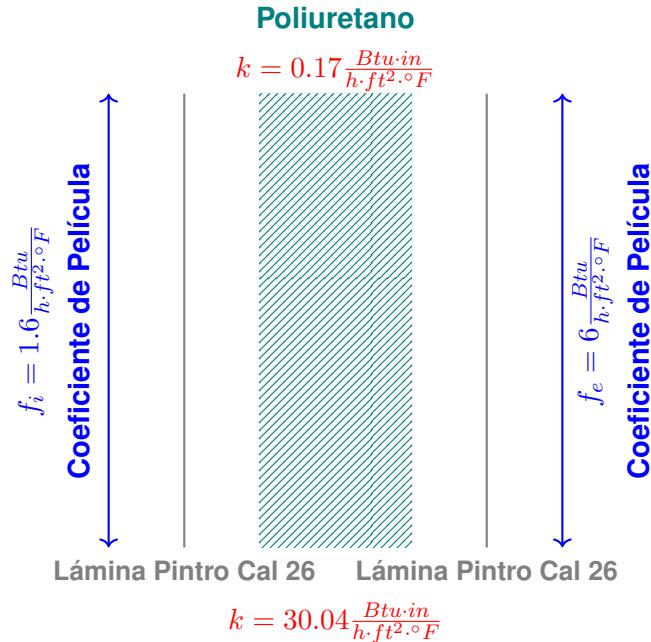


Figura 4.13: Pared Compuesta propuesta para la cámara frigorífica
Fuente: Elaboración propia usando \LaTeX y Tikz

Carga térmica por paredes

La carga térmica para cada muro de la cámara de refrigeración se calcula usando la fórmula:

$$Q = A \cdot U \cdot \Delta T \quad (4.56)$$

Definimos las diferencias de temperatura

$$\begin{aligned} \Delta T_n &= T_{bs} - t_{almac} = 77 - 37.4 = 39.6^\circ F \\ \Delta T_s &= T_{bs} - t_{almac} + t_{almac} = 77 - 37.4 + 37.4 = 77^\circ F \\ \Delta T_o &= T_{bs} - t_{almac} + t_{almac} = 77 - 37.4 + 37.4 = 77^\circ F \\ \Delta T_p &= T_{bs} - t_{almac} + t_{almac} = 77 - 37.4 + 37.4 = 77^\circ F \\ \Delta T_{piso} &= T_{bs} + 9 + t_{almac} = 77 + 9 + 37.4 = 123.4^\circ F \end{aligned} \quad (4.57)$$

Ahora reemplazando los resultados de 4.54, 4.55 y 4.57 en la ecuación 4.56 obtendremos la carga térmica para cada pared de nuestra cámara de refrigeración.

Norte:

$$\begin{aligned}
 Q_n &= A_n \cdot U \cdot \Delta T_n = 3.299 \text{ ft}^2 \cdot 0.0808 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}} \cdot (39.6^\circ \text{F}) \\
 &= 3.299 \times 0.0808 \times 39.6 \\
 &\approx 10.639 \text{ BTU/hr} \\
 \therefore Q_n &= 10.6 \text{ BTU/hr}
 \end{aligned}$$

Sur:

$$\begin{aligned}
 Q_s &= A_s \cdot U \cdot \Delta T_s = 3.299 \text{ ft}^2 \cdot 0.0808 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}} \cdot (77 - 37.4 + 37.4) \\
 &= 3.299 \times 0.0808 \times 77 \\
 &\approx 20.891 \text{ BTU/hr} \\
 \therefore Q_s &= 20.9 \text{ BTU/hr}
 \end{aligned}$$

Oriente:

$$\begin{aligned}
 Q_o &= A_o \cdot U \cdot \Delta T_o = 3.867 \text{ ft}^2 \cdot 0.0808 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}} \cdot (77 - 37.4 + 37.4) \\
 &= 3.867 \times 0.0808 \times 77 \\
 &\approx 23.144 \text{ BTU/hr} \\
 \therefore Q_o &= 23.1 \text{ BTU/hr}
 \end{aligned} \tag{4.58}$$

Poniente:

$$\begin{aligned}
 Q_p &= A_p \cdot U \cdot \Delta T_p = 3.867 \text{ ft}^2 \cdot 0.0808 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}} \cdot (77 - 37.4 + 37.4) \\
 &= 3.867 \times 0.0808 \times 77 \\
 &\approx 23.144 \text{ BTU/hr} \\
 \therefore Q_p &= 23.1 \text{ BTU/hr}
 \end{aligned}$$

Piso:

$$\begin{aligned}
 Q_{piso} &= A_{pt} \cdot U \cdot \Delta T_{piso} = 3.867 \text{ ft}^2 \cdot 0.0808 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^2 \cdot ^\circ \text{F}} \cdot (77 + 9 - 37.4) \\
 &= 3.867 \times 0.0808 \times 48.6 \\
 &\approx 15.160 \text{ BTU/hr} \\
 \therefore Q_{piso} &= 15.2 \text{ BTU/hr} = Q_{techo}
 \end{aligned}$$

$$Q_{T_{paredes}} = Q_n + Q_s + Q_o + Q_p + Q_{piso} + q_{techo} = 108.1 \text{ BTU/hr} \tag{4.59}$$

Carga térmica del producto

Para calcular la carga térmica del producto, es fundamental considerar que no hay calor latente que remover en el proceso de almacenamiento. Sin embargo, existe un calor

sensible que debe tenerse en cuenta. Almacenaremos la insulina a una temperatura específica, lo que nos permite calcular la carga térmica sensible considerando la tasa de transferencia de masa y el calor específico del producto.

La tasa de flujo de masa se calcula de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}\dot{m} &= (F \cdot R) \cdot \left(\frac{2,200 \text{ lb}}{1 \text{ TM}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hrs}} \right) \\ \dot{m} &= 1TM \left(\frac{2,200 \text{ lb}}{1 \text{ TM}} \right) \cdot \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hrs}} \right) \\ \dot{m} &= 91.6666 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}\end{aligned}\tag{4.60}$$

La carga térmica sensible de la insulina Q_{insulina} se obtiene con la fórmula:

$$\begin{aligned}Q_{\text{insulina}} &= \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{\text{en}} - T_{\text{alm}}) \\ C_p &= 0.35 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ \text{F}}\end{aligned}\tag{4.61}$$

Sustituyendo los valores:

$$\begin{aligned}Q_S &= 91.6666 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \times \left(0.35 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} \cdot ^\circ \text{F}} \right) \times (6 - 3) = 192.5 \text{ BTU/hr} \\ \therefore Q_{\text{insulina}} &= 192.5 \text{ BTU/hr}\end{aligned}\tag{4.62}$$

Carga térmica por Infiltración

En este apartado de los cálculos, es importante aclarar varios factores que influyen en la selección del sistema de refrigeración para la conservación de insulina. Uno de los primeros aspectos a considerar en un espacio refrigerado es cuantificar la cantidad de calor que puede infiltrarse en la cámara. Para realizar este análisis de manera precisa, se debe comenzar por calcular la capacidad volumétrica del área a refrigerar, lo cual implica determinar el volumen total del espacio. Este valor es fundamental para dimensionar adecuadamente el equipo de refrigeración necesario.

Además del volumen, se deben tener en cuenta otros factores importantes, como la ubicación geográfica, la carga térmica generada por las operaciones internas y las condiciones ambientales externas que puedan afectar el rendimiento del sistema. Estos datos son esenciales para diseñar un sistema eficiente que mantenga las condiciones óptimas de temperatura y humedad dentro de la cámara refrigerada. ASHRAE proporciona una tabulación de datos que indica la cantidad de cambios de aire por hora en función de la capacidad volumétrica del espacio, lo que permite calcular con precisión la carga térmica total del sistema.

$$\begin{aligned}
 V &= l \times a \times h \\
 &= 0.6m \times 0.6m \times 0.51m \\
 &= 0.1836m^3 \times \left(35.31 \frac{ft^3}{m^3} \right) \\
 \therefore V &= 6.483ft^3
 \end{aligned} \tag{4.63}$$

Usando la tabla 4.4, para poder encontrar el factor que indica los cambios de aire por cada 24 horas, de ser necesario, interpolar entre los valores aproximados para una mayor exactitud

Cuadro 4.4: Promedio de cambios de aire en 24 horas para cámaras de almacenaje debido a la apertura de puertas e infiltración

Fuente: Extraído del manual de Fundamentos ASHRAE, (1981).					
Volumen <i>ft³</i>	Cambios de aire en 24 horas		Volumen <i>ft³</i>	Cambios de aire en 24 horas	
	Arriba de 32°F	Abajo de 32°F		Arriba de 32°F	Abajo de 32°F
200	44.0	33.5	6,000	6.5	5.0
300	34.5	26.2	8,000	5.5	4.3
400	29.5	22.5	10,000	4.9	3.8
500	26.0	20.0	15,000	3.9	3.0
600	23.0	18.0	20,000	3.5	2.6
800	20.0	15.3	25,000	3.0	2.3
1,000	17.5	13.5	30,000	2.7	2.1
1,500	14.0	11.0	40,000	2.3	1.8
2,000	12.0	9.3	50,000	2.0	1.6
3,000	9.2	7.4	75,000	1.6	1.3
4,000	8.2	6.3	100,000	1.4	1.1
6,000	7.2	5.6			

Para poder obtener factor del calor removido en el aire es necesario tener como dato la temperatura de bulbo seco y la temperatura de almacenaje, así apoyándose de la tabla 4.5 encontrar el factor de calor removido.

Cuadro 4.5: Calor removido en aire de enfriamiento en las condiciones de almacenamiento (BTU por pie cúbico)

Fuente: Extraído del manual de Fundamentos ASHRAE 1981.								
Temperatura de la cámara de almacenamiento	Temperatura del aire exterior °F							
	85	90	95	100	60	50	60	60
°F	60	60	70	80	50	60	50	60
25	0.39	0.43	0.69	0.91	0.93	1.20	2.54	1.51
20	0.62	0.56	0.89	1.12	1.14	1.41	2.68	1.71
15	0.65	0.69	1.08	1.31	1.33	1.60	2.80	1.91
10	0.77	0.82	1.26	1.49	1.51	1.78	2.93	2.09
5	0.89	0.94	1.43	1.66	1.68	1.94	3.05	2.25
0	1.01	1.05	1.59	1.81	1.83	2.10	3.16	2.41
-5	1.13	1.17	1.74	1.96	1.99	2.25	3.28	2.56
-10	1.24	1.29	1.88	2.10	2.13	2.39	3.40	2.70

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Infiltración}} &= (V) \cdot \left(\frac{\text{Cambios}}{24 \text{ hrs}} \right) \cdot (\text{Calor removido}) \cdot f \\
 Q_{\text{Infiltración}} &= (6.483 \text{ ft}^3) \cdot \left(33.5 \frac{\text{Cambios}}{24 \text{ hrs}} \right) \cdot \left(0.90 \frac{\text{BTU}}{\text{ft}^3} \right) \cdot 0.6 \\
 Q_{\text{Infiltración}} &= 117.27747 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}
 \end{aligned} \tag{4.64}$$

Carga del Motor eléctrico

Este cálculo se basa en la preselección del equipo adecuado. Al hablar de un dispositivo diseñado para refrigerar insulina, es fundamental considerar el uso del evaporador y sus componentes. El evaporador, que se instala dentro de la cámara refrigerada, se toma en cuenta dentro de los cálculos de carga térmica.

Para realizar el cálculo de la carga térmica es necesario disponer de los datos del motor y la cantidad de equipo dentro de la cámara. Para determinar el calor emitido por estos dispositivos, es necesario consultar la tabla 4.6, que contiene la información requerida para su aplicación en el área refrigerada.

Cuadro 4.6: Calor disipado por los motores eléctricos

Fuente: Extraído del manual de Fundamentos ASHRAE 1981

HP del motor	BTU por (hp)/(hora)		
	Motor y ventilador dentro del cuarto	Motor fuera y ventilador dentro	Motor dentro y ventilador fuera
1/8 a 1/2	4250	2,545	1,700
1/2 a 3	3,700	2,545	1,150
3 a 20	2,950	2,545	400

Tomando como apoyo la ecuación del calor en motores y sustituyendo las variables a considerar de la tabla 4.6 se obtiene el calor generado por la cantidad de motores

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{Motores}} &= (\# \text{Motores})(\text{HP})(\text{Calor disipado por los motores}) \\
 Q_{\text{Motores}} &= (1)(1.20 \text{ HP}) \left(2545 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{HP}} \right) \\
 Q_{\text{Motores}} &= 3054 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}
 \end{aligned} \tag{4.65}$$

Carga por iluminación

Se toma en consideración la carga térmica promedio generada en una situación crítica donde se toma 1 watt por cada pie cuadrado, y el total del área superficial total del techo.

$$\begin{aligned}
Q_{iluminacion} &= (\text{Largo}_{Ext})(\text{Ancho}_{Ext})(\text{Factor de conversión})(\text{Datos de Norma})(\text{FC}_{Norma}) \\
&= 0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 10.76 \frac{\text{ft}^2}{\text{m}^2} \times 1 \frac{\text{Watt}}{\text{ft}^2} \times 3.41 \frac{\text{BTU}}{\text{hr} \cdot \text{Watt}} \\
\therefore Q_{iluminacion} &= 13.208 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}
\end{aligned} \tag{4.66}$$

4.4.5. Carga térmica total

$$\begin{aligned}
Q_{subtotal} &= Q_{T_{paredes}} + Q_{insulina} + Q_{Infiltracion} + Q_{motores} + Q_{iluminacion} \\
&= (108.1 + 192.5 + 117.3 + 3054 + 13.208) \text{ BTU/hr} \\
\therefore Q_{subtotal} &= 3,485.108 \text{ BTU/hr}
\end{aligned} \tag{4.67}$$

Considerando un factor de seguridad por cuestiones de variaciones de temperatura originadas por los cambios climáticos sufridos por el país, que no son consideradas dentro de los parámetros calculados.

$$\begin{aligned}
10\% F.S &= 34.851 \text{ Btu/h} \\
\therefore Q_{Total} &= 3,519.951 \text{ BTU/hr}
\end{aligned} \tag{4.68}$$

4.5. Selección de equipo

4.5.1. Unidad condensadora

En esta sección, es fundamental contar con una amplia variedad de catálogos de unidades condensadoras tipo

para realizar una selección eficiente del equipo adecuado. La selección de la unidad condensadora BOHN incluye los componentes esenciales del proceso de refrigeración, como la unidad evaporadora, la unidad de expansión, el condensador o intercambiador de calor, y el compresor. Con estos elementos incluidos en el sistema BOHN, solo queda seleccionar con base en los parámetros de temperatura de almacenamiento y la carga térmica con la que operará la unidad condensadora.

De acuerdo con el Catálogo BOHN, categoría Advancer A-500 (anexo 7), la capacidad de la unidad condensadora a una temperatura de operación de -20°C (muy cercana a los -18°C calculados) es de

$$10,400 \text{ W} \left(35,464 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}} \right)$$

Comparando con los cálculos obtenidos de

$$3,485.108 \frac{\text{BTU}}{\text{hr}}$$

hay una diferencia aproximada de

$$1,000 \frac{BTU}{hr}$$

lo que representa una variación del 2.78 %. Esta pequeña diferencia confirma que la selección del equipo es adecuada. Para más detalles, consulte el catálogo completo en el anexo 7.

RENDIMIENTO		
CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN		CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN
CAPACIDAD NETA DE REFRIGERACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES A.T.P. A UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C		
Capacidad durante el funcionamiento del motor a 0°C		19500 W
Capacidad durante el funcionamiento del motor a -20°C		10400 W
Capacidad durante el funcionamiento eléctrico a 0°C		14600 W
Capacidad durante el funcionamiento eléctrico a -20°C		8400 W
EL CAUDAL DE AIRE		
Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Default @ Descenso de la temperatura		5500 m3/h
Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Max @ Descenso de la temperatura		6000 m3/h
Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Default @ Set Point		3400 m3/h
Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Max @ Set Point		5500 m3/h

Figura 4.14: Tabla de datos recortado del catálogo de especificaciones BOHN del anexo 7.
Fuente: (BOHN, 2024)

4.6. Diseño del sistema eléctrico

Es fundamental implementar un sistema eléctrico seguro (ver figura 4.9) para una cámara de refrigeración destinada al almacenamiento de insulina, dada la importancia de mantener condiciones óptimas para la conservación de productos farmacéuticos. Un sistema eléctrico confiable garantiza que la temperatura dentro de la cámara se mantenga constante y segura, evitando la degradación del fármaco y asegurando su efectividad. En la figura 4.19 se puede apreciar un acercamiento al diagrama resumido que se propone, para más detalles vea el anexo 3.

Prevención de Incendios: Un diseño eléctrico defectuoso o inadecuado puede provocar cortocircuitos o sobrecargas eléctricas, lo que incrementa significativamente el riesgo de incendios. Esto no solo puede causar daños al equipo, sino que también compromete la seguridad de las instalaciones y del personal.

Mantenimiento del Equipo: Un sistema eléctrico bien diseñado contribuye al funcionamiento óptimo y prolongado de los equipos de refrigeración. Esto reduce la probabilidad de fallas y preserva los componentes en buen estado por más tiempo, lo cual es crucial en un entorno donde la integridad de los productos farmacéuticos es prioritaria.

Cumplimiento Normativo: En el ámbito farmacéutico, existen regulaciones y estándares específicos que deben cumplirse para el almacenamiento de productos sensibles como la insulina. Asegurarse de cumplir con estos requisitos es esencial para evitar multas y sanciones, además de garantizar la seguridad y eficacia de los productos almacenados.

4.6.1. Esquema a bloques del funcionamiento del sistema eléctrico.

El esquema de la figura 4.15 incluye las siguientes protecciones para mantener seguros y protegidos los componentes del sistema de refrigeración:

- Protección Contra Sobrecorriente: Previene daños al sistema eléctrico en caso de corrientes excesivas.
- Protección Contra Sobretensión: Salvaguarda al sistema contra picos de voltaje que podrían dañar los componentes eléctricos.
- Controlador de Temperatura: Asegura que la temperatura dentro de la cámara de refrigeración se mantenga dentro de los límites seguros.
- Sensor de Temperatura y Humedad: Monitorea continuamente las condiciones de la cámara, garantizando el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración.

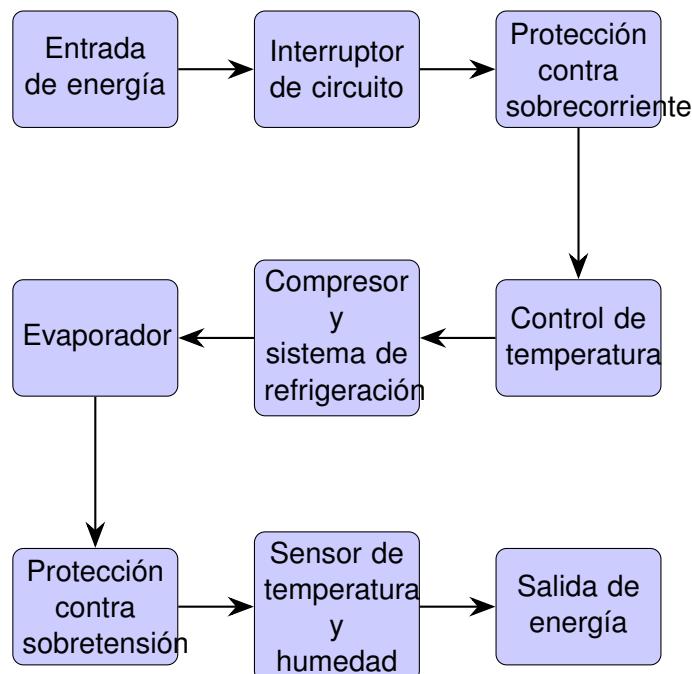


Figura 4.15: Esquema a bloques del sistema eléctrico.

Fuente: Elaboración propia usando Tikz

4.6.2. Protección contra sobrecarga

La protección contra sobrecarga es un mecanismo diseñado para evitar daños en un circuito eléctrico debido a corrientes excesivas. Este sistema se implementa para garantizar la seguridad del sistema eléctrico y proteger sus componentes de posibles fallas o daños. Es esencial contar con un dispositivo de protección contra sobrecarga en el sistema de refrigeración para asegurar su seguridad, fiabilidad y cumplimiento normativo.

En el contexto del sistema de la cámara de refrigeración para este proyecto, se utilizará un disyuntor (ver figura 4.16). Este dispositivo abrirá el circuito en caso de sobrecarga, y tras corregir cualquier fallo que se presente en el sistema, se podrá reiniciar manualmente,

restableciendo así su funcionalidad original.

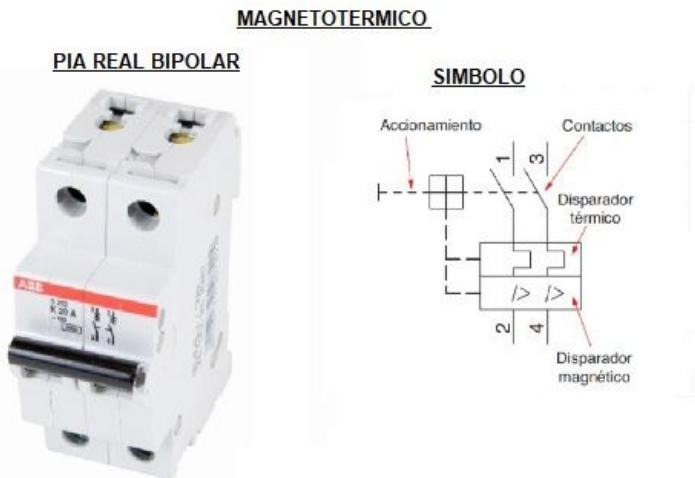


Figura 4.16: Disyuntor simbología

Fuente: (Área tecnología, 2016)

4.6.3. Protección Contra Cortocircuito

Un cortocircuito ocurre cuando se forma una conexión eléctrica no deseada entre dos puntos de un circuito que normalmente no deberían estar conectados. Esto puede resultar en corrientes extremadamente altas que fluyen a través del circuito, provocando sobrecalentamiento, incendios e incluso explosiones. Para proteger el sistema contra cortocircuitos, se implementará un fusible (ver figura 4.17) que se colocará en serie en la conexión principal. Al detectar una corriente muy alta, el fusible se fundirá, impidiendo el paso de electricidad y protegiendo así la integridad de los componentes. Una vez corregido el fallo, el fusible puede ser fácilmente reemplazado por otro de características similares, permitiendo que el sistema vuelva a funcionar con normalidad.

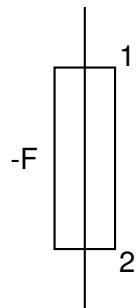


Figura 4.17: Simbología de un fusible

Fuente: Elaboración propia usando \LaTeX y Tikz

4.6.4. Diseño del Sistema de Seguridad Eléctrico

El diseño del sistema eléctrico es un aspecto crucial en la planificación y ejecución de cualquier instalación eléctrica. Garantizar la seguridad de las personas, proteger los productos farmacéuticos y prevenir incidentes son objetivos prioritarios en este proceso.

Metas de la seguridad eléctrica

1. Salvaguardar la integridad física de las personas que interactúan con el sistema de refrigeración.
2. Proteger los equipos y componentes eléctricos de daños causados por condiciones anormales de operación.
3. Minimizar el riesgo de incendios y otros accidentes eléctricos.
4. Cumplir con las normativas y estándares de seguridad eléctrica aplicables.

Elementos del Sistema de Seguridad

- **Protección Contra Sobrecarga:** Se implementará un disyuntor que será el encargado de proteger el sistema (ver figura 4.16).
- **Protección Contra Cortocircuito:** Se instalará un fusible que impedirá el paso de corriente en caso de cortocircuito, protegiendo así los componentes del sistema.
- **Sistemas de Puesta a Tierra:** Estos sistemas servirán para proteger a las personas de descargas eléctricas; el disyuntor también cumplirá esta función.
- **Aislamiento Eléctrico:** Se utilizarán materiales y técnicas adecuadas para garantizar un aislamiento seguro de conductores y equipos, evitando descargas y arcos eléctricos.

Considerando todos estos puntos, se diseñará un circuito que sea seguro para el operador de la cámara y mantenga la continuidad operativa de las instalaciones eléctricas.

4.6.5. Esquema del sistema eléctrico

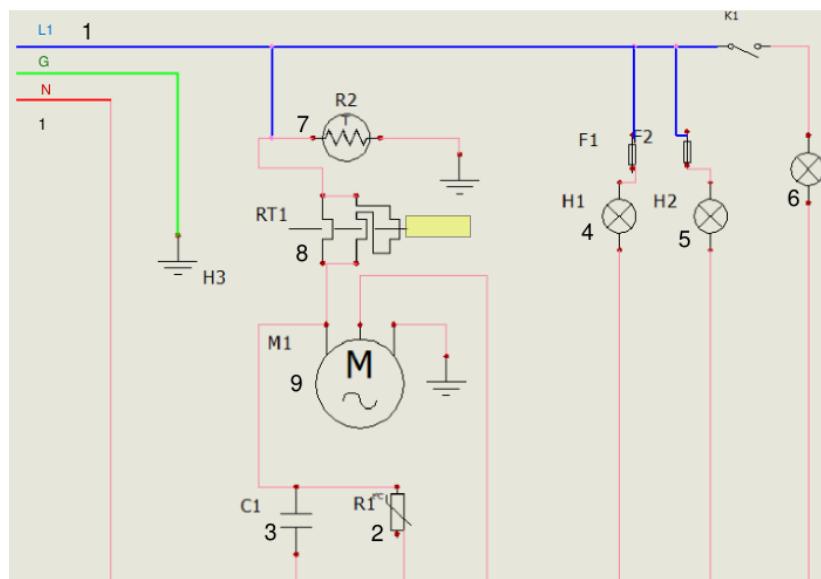


Figura 4.18: Diagrama eléctrico
Fuente: Elaboración propia en Proteus 8.2

4.7. Conclusión

La redacción de este capítulo ha sido fundamental en la propuesta de solución para el diseño y selección de componentes de una cámara de refrigeración destinada a la conservación de insulina, especializada en pacientes diabéticos de la alcaldía Azcapotzalco en la Ciudad de México. Conocer y estructurar correctamente las cargas térmicas ha sido esencial para garantizar que el sistema de refrigeración se ajuste de manera precisa a los requisitos de conservación de la insulina, tomando en cuenta las condiciones climáticas específicas de la zona.

Este proceso ha permitido prever las variaciones de temperatura externas y cómo estas afectan la operación del sistema, asegurando que la insulina mantenga sus propiedades farmacológicas y su eficacia durante todo su periodo de almacenamiento. La correcta estimación y estructuración de las cargas térmicas es crucial para diseñar un sistema de refrigeración que no solo cumpla con los estándares de conservación, sino que también sea eficiente en términos energéticos, reduciendo costos operativos y minimizando el impacto ambiental.

Finalmente, la eficiencia en la conservación de insulina en los hospitales públicos de la Ciudad de México es de vital importancia para garantizar el bienestar de los pacientes diabéticos, especialmente en zonas de alta demanda como Azcapotzalco. El correcto funcionamiento de estos sistemas permitirá evitar el deterioro de la insulina, asegurando un suministro constante y seguro para los pacientes que dependen de ella.

Capítulo V. Análisis de costos del proyecto



Introducción

La distribución de la cámara de refrigeración se detalla en la Figura 4.1. El contenedor del refrigerador está adaptado con láminas compuestas de poliuretano (película interna fi - Poliuretano - película externa fe) en las cuatro paredes, con el objetivo de minimizar la pérdida de temperatura por transferencia térmica a través de las superficies. Esta aislación contribuye a evitar el uso de ventiladores, mejorando la eficiencia energética en las etapas iniciales del funcionamiento.

En la parte posterior de la cámara se integra la unidad de refrigeración, cuya función es proteger los componentes del sistema. Esta unidad alberga los elementos principales, como el compresor, el condensador y el dispositivo de expansión, que están conectados directamente al evaporador. El evaporador está situado en el interior de la cámara y conectado al serpentín, cuya función es asegurar una mejor distribución del refrigerante dentro de la cámara, lo que permite una disipación de calor más eficiente y uniforme.

Además, la cámara está equipada con diversas tapas y una cubierta de cristal, diseñadas para mantener el medicamento en condiciones óptimas de almacenamiento.

La cámara tiene dimensiones de $60 \times 60 \times 51.2$ centímetros. Es fundamental considerar aspectos como el flujo de aire interno y la distribución térmica. La selección del serpentín garantizará una transferencia de calor eficiente y uniforme, minimizando las zonas frías o calientes que podrían afectar la integridad del producto. Además, en los cálculos de secciones posteriores se considera la capacidad del evaporador para manejar la carga térmica en función de la cantidad y tipo de insulina almacenada, así como las condiciones ambientales externas propias de la Alcaldía.

5.1. Costos Directos

Son aquellos costos que tienen una conexión directa con el proyecto y se reflejan de manera tangible; se manifiestan en el desarrollo del proyecto y en la conclusión de este. Son los costos responsables de manifestar de manera tangible aquello que en su principio fue una propuesta de solución, tanto en los componentes de la obra, como en los operadores responsables del desarrollo del proyecto.

5.1.1. Mano de obra

Para el desarrollo del proyecto se necesita de apoyo técnico y personal capacitado para la ejecución e instalación de componentes específicos. En este proyecto, es fundamental contar con técnicos especializados para la instalación de la unidad de refrigeración, cuyo sistema garantizará la correcta refrigeración del medicamento en cuestión, y debe estar adaptado a las necesidades específicas del entorno de almacenamiento.

Según las tarifas estimadas por el Gobierno de México y la Secretaría de Economía del México, los técnicos especializados en instalación de sistemas de refrigeración tienen un salario aproximado de \$10,250.00 MXN por instalación. Este cálculo proviene de fuentes

especializadas en la instalación y puesta en marcha de sistemas de refrigeración, y se estima que el tiempo necesario para la instalación de todos los componentes, incluidos los trabajos de aislamiento, es de aproximadamente 2,400 minutos, lo que equivale a un tiempo máximo de trabajo de 5 días. OA

5.1.2. Unidad Condensadora

La selección de la unidad condensadora toma en cuenta los siguientes parámetros esenciales para el correcto funcionamiento del sistema de refrigeración en la cámara destinada al almacenamiento de insulina:

- **Carga térmica:** 2.8732 T.R. = 31,605.2724 BTU/h
- **Temperatura de almacenamiento:** -18 °C (-0.4 °F)
- **Temperatura de evaporación del refrigerante:** -40 °C (-40 °F)
- **Temperatura del exterior:** 41 °C (105.8 °F)
- **Temperatura de condensación del refrigerante:** 35 °C (95 °F)

Además de estos parámetros, es necesario considerar el tipo de refrigerante que emplea la unidad, ya que es el fluido de trabajo con el que opera todo el sistema. Se opta por el refrigerante R-404A, ya que este es el que maneja la unidad evaporadora, lo que garantiza la compatibilidad y eficiencia en el sistema de refrigeración.

Es importante destacar que la elección de la unidad condensadora y el refrigerante deben ser coherentes con las condiciones operativas de la cámara de refrigeración y la carga térmica que se manejará, para evitar fluctuaciones de temperatura que puedan comprometer la efectividad del almacenamiento del medicamento.

5.2. Distribución y Características de la Cámara de Refrigeración

La cámara de refrigeración se encuentra diseñada para mantener las condiciones óptimas para el almacenamiento de insulina. La distribución del espacio y los componentes de la cámara se detallan en la figura 4.1, destacando el uso de láminas compuestas de poliuretano para minimizar la pérdida de temperatura por transferencia térmica. Estas láminas están ubicadas en las cuatro paredes de la cámara, lo que contribuye a evitar el uso de ventiladores y mejora la eficiencia energética en las etapas iniciales del funcionamiento.

5.2.1. Unidad de Refrigeración

En la parte posterior de la cámara, se integra la unidad de refrigeración, cuya función es proteger los componentes del sistema. Esta unidad alberga los elementos principales, como el compresor, el condensador y el dispositivo de expansión, los cuales están conectados directamente al evaporador. El evaporador está ubicado en el interior de la cámara y conectado al serpentín, que asegura una distribución adecuada del refrigerante dentro de la cámara, permitiendo una disipación de calor más eficiente y uniforme.

5.2.2. Consideraciones del Producto

Las dimensiones de la cámara son $60 \times 60 \times 51.2$ centímetros, lo que permite una distribución eficiente del aire y una distribución térmica adecuada. En este sentido, la selección del serpentín será clave para garantizar una transferencia de calor eficiente y minimizar las zonas frías o calientes que podrían afectar la integridad del producto. Además, la capacidad del evaporador se seleccionará en función de la carga térmica generada por la cantidad y tipo de insulina almacenada, así como las condiciones ambientales externas propias de la Alcaldía de Azcapotzalco.

5.3. Ubicación Geográfica

Es importante considerar las condiciones geográficas y climáticas del lugar en donde estará ubicada la cámara de refrigeración. En este proyecto, se toma como referencia el Pueblo de Santa Bárbara, en la Alcaldía Azcapotzalco, Ciudad de México. Las condiciones climáticas en la zona se resumen a continuación:

- **Temperatura de bulbo seco:** 25°C (77°F)
- **Temperatura de bulbo húmedo:** 20°C (68°F)
- **Altitud:** 2,240 msnm
- **Presión atmosférica:** 1,023 Pa (1 atm)

5.4. Condiciones del Producto a Refrigerar

La insulina debe ser almacenada en un rango de temperatura específico para garantizar su efectividad. Según las condiciones proporcionadas por la UMF.40, las condiciones de almacenamiento para la insulina son las siguientes:

Cuadro 5.1: Condiciones del Producto a Refrigerar

Producto	Temp. Almacenamiento (°C)	Humedad relativa (%)	Vida aprox. (días)
Insulina	2 - 8	35 - 70	28 (antes de abrir)

En cuanto al tipo de insulina, se proporcionan dos tipos de insulina a los pacientes diabéticos: *Humalog Insulina Lispro* y *Insulina Lantus*. Ambos productos son suministrados por el gobierno, lo que garantiza que su logística de cadena de suministro está debidamente regulada.

5.5. Comparación de Unidades Condensadoras Thermo King

El análisis a continuación presenta las características y ventajas de las unidades condensadoras tipo Thermo King, comparando tres opciones disponibles para la refrigeración en la UMF40. La elección de la unidad adecuada dependerá de varios factores, como la carga térmica necesaria, el costo y la facilidad de mantenimiento.

Cuadro 5.2: Comparación de Unidades Condensadoras Tipo Thermo King

Opción	Proveedor/Marca	Venta
A-500	Thermo King	Cumple con la carga térmica necesaria. Facilidad de mantenimiento.
A-500 Whisper Pro	Thermo King	Fácil mantenimiento. Sustitución rápida.
A-500 Spectrum	Thermo King	Menor tiempo de desescarche.

5.5.1. Análisis de las Opciones

Cada una de las opciones presenta características particulares que pueden ser relevantes dependiendo de las necesidades específicas del proyecto en la UMF40. Se debe considerar que el costo es un factor importante, pero también lo es la eficiencia en el mantenimiento y la capacidad de enfriamiento.

- **A-500 Thermo King:** Es la opción que mejor cumple con la carga térmica necesaria para el almacenamiento de insulina en la UMF40. A pesar de su costo elevado, se destaca por su fácil mantenimiento y el control del consumo de combustible.
- **A-500 Whisper Pro:** Aunque es silenciosa y de fácil uso, no cumple con los requerimientos de carga térmica. Su costo también es elevado en relación con su utilidad, lo que puede hacerla menos atractiva para este tipo de proyecto.
- **A-500 Spectrum:** Ofrece un menor tiempo de desescarche y un precio más bajo, pero carece de la funcionalidad de seguimiento del consumo de combustible, lo que podría ser un inconveniente en términos de eficiencia energética.

5.5.2. Preferencia y Elección

La elección final dependerá de los requisitos específicos de refrigeración, así como del presupuesto disponible para la unidad condensadora. Basado en la carga térmica necesaria y la eficiencia del mantenimiento, la opción **A-500 Thermo King** sería la preferida, con una valoración de 8.5.

Glosario

A

Absorción: Es la extracción de uno o más componentes de una mezcla de gases cuando los gases y los líquidos entran en contacto. El proceso se caracteriza por un cambio en el estado físico o químico de los componentes.

B

Barrido: Práctica en refrigeración que consta en la limpieza de las tuberías que forman un circuito frigorífico mediante la impulsión (por medio de un gas a alta presión) de un fluido de limpieza que barre el interior de las tuberías.

C

Caída de presión: La diferencia de presión entre dos puntos.

Calor latente: Calor que provoca el cambio de estado de una sustancia sin cambio en la temperatura o presión.

Calor sensible: Calor que cambia la temperatura de una sustancia. Puede ser medida con un termómetro.

Compresor: Es el componente de una instalación frigorífica encargado de aspirar el refrigerante en estado gaseoso, para luego comprimirlo, y descargarlo hacia el condensador como refrigerante en estado gaseoso a alta temperatura y presión.

Conducción: La transferencia de calor por contacto directo entre dos objetos a diferentes temperaturas. Esta toma lugar en sólidos y también entre sólidos que están en contacto directo con otro.

Convección: El proceso mediante el cual gases y líquidos se mueven debido a cambios en la temperatura y presión.

E

Entalpía: La cantidad total de energía térmica (calor) contenida en una sustancia. Esto depende de la naturaleza de la sustancia, presión y temperatura.

G

Gas no condensable: Un gas que no cambia a estado líquido bajo condiciones normales de operación. Los gases no condensables en un sistema generalmente son la humedad o el aire.

R

Refrigerante: Fluido en un sistema frigorífico que adquiere calor mediante su evaporación a baja temperatura y presión y entrega este calor mediante su condensación a alta presión y temperatura.

S

Sistema en cascada: Es el arreglo en el cual dos o más sistemas frigoríficos operan en serie; el evaporador de una máquina enfriá el condensador de la otra máquina.

T

Termostato: Elemento de una instalación frigorífica que controla la temperatura de un recinto o ambiente. Mediante la apertura o cierre de un contacto, establece el corte o puesta en marcha de la instalación frigorífica.

Tonelada de refrigeración: Cantidad de frío producido mediante el derretimiento de 1 tonelada de hielo en 24 horas.

Torre de enfriamiento: Es un accesorio del condensador usado para enfriar agua.

V

Visor de líquido: Tal como su nombre lo describe, la utilización de este elemento nos permite observar el pasaje del refrigerante. Se instala antes del dispositivo de expansión, y en algunos modelos, lleva indicador de humedad.

Referencias

- Agustín, D., y Vanegas, D. (2011, 01). Descripción de dispositivos de expansión termostática en sistemas de refrigeración.
- Alfaro, J., Simal, A., y Botella, F. (2002). *Tratamiento de la diabetes mellitus*. Descargado de <http://www.mscbs.es/en/biblioPublic/publicaciones/docs/mellitus.pdf> (Vol. 24 N. 2)
- Apablaza, P., Soto, N., Román, R., y Codner, E. (2016, 3). Nuevas tecnologías en diabetes. *Revista médica Clínica Las Condes*, 27(2), 213–226. Descargado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0716864016300116?via%3Dihub> doi: 10.1016/j.rmclc.2016.04.011
- ASHRAE | Ashrae.org. (s.f.). *Web Starter Kit*. (<https://www.ashrae.org/about>)
- Belamn, R. (2015, 5). *Refrigerador experimental difusión-absorción [Imagen]*. <https://acortar.link/PNfEUF>. (Obtenido de ResearchGate)
- Bercofred. (2021, 2). *Consejos sobre cómo elegir la mejor cámara frigorífica para tu negocio*. <https://www.bercofred.com/consejos-sobre-como-elegir-la-mejor-camara-frigorifica-para-tu-negocio/>.
- Bernad. (2023). *Historia de la refrigeración: De la prehistoria a la actualidad*. <https://www.josebernad.com/historia-de-la-refrigeracion-de-la-prehistoria-a-la-actualidad/>.
- bibliocad. (s.f.). *Evaporador en 3d. en AutoCAD / Bibliocad*. https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/evaporador-de-una-planta-pesquera_26654/.
- Bohn de México, B. (2014). *BOHN - Líder en la fabricación de Equipos de Refrigeración Comercial e Industrial*. <https://www.bohn.com.mx/>.
- Boles, M. A., y Çengel, Y. A. (2010). *Thermodynamics : An Engineering Approach, 7th Edition*. <https://www.mybooklibrary.com/pdf/thermodynamics-an-engineering-approach-7th-edition.pdf>.
- Britannica, T. E. d. E. (2023, 13 de octubre). *Refrigeración*. <https://www.britannica.com/technology/refrigeration>.
- Bruno. (2024, 1). *Cálculo de cargas térmicas de climatización*. <https://www.ingenierosindustriales.com/calcular-de-cargas-termicas-de-climatizacion/>.
- Buse, J., Davies, M., Frier, B., y cols. (2021). 100 years on: the impact of the discovery of insulin on clinical outcomes. *BMJ Open Diabetes Research and Care*, 9, e002373. doi: 10.1136/bmjdrc-2021-002373
- Caloryfrio, M. I. (2018, 11). *Efectos de los reglamentos F-gas y de ecodiseño en la fabricación de equipos y centrales frigoríficas de HFC*. <https://www.caloryfrio.com/refrigeracion-frio/efectos-reglamentos-f-gas-ecodiseno-equipos-centrales-frigorificas-hfc.html>.
- Carrier, C. (1980, 11). Manual de aire acondicionado. *McGRAW-HILL*. <https://onx.la/a5c4e>.
- Carson, J. (2013a). *Refrigeration: Theory and applications*. UK: Bookboon.com.
- Carson, J. (2013b). *Refrigeration: Theory and applications*. Bookbook.

- Caterpillar. (2008). *Know your cooling system*. us: Autor.
- Cengel, Y. A. (2009). *Introduction to Thermodynamics and Heat Transfer*. McGraw-Hill Higher Education.
- CIMA Agencia Española, M. Y. P. S. (2006, 4). *CIMA: FICHA TECNICA HUMALOG 100 UNIDADES/ML SOLUCION INYECTABLE EN VIALES*. <https://goo.su/ROjz8g>.
- CIMA Agencia Española, M. Y. P. S. (2015, 2). *CIMA: FICHA TECNICA LANTUS SOLOSTAR 100 UNIDADES/ML SOLUCION INYECTABLE EN PLUMA PRECARGADA*. <https://goo.su/fADk>.
- Clima. Distrito Federal. (s.f.). *[Imagen]*. (<https://lc.cx/x8aNaj>)
- Clima. Distrito Federal. (s.f.). <https://goo.su/P3Ce>.
- Cressie, N. (1993). *Statistics for Spatial Data*. <https://doi.org/10.1002/9781119115151>. doi: 10.1002/9781119115151
- Critchell, J., y Raymond, J. (1912). *A history of frozen meat trade* (2nd edn ed.). London.
- Curiosfera. (2023). *Historia de la refrigeración*. <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-refrigeracion/>.
- DataMéxico. (2022). *Insulina y sus Sales: Intercambio comercial, compras y ventas internacionales, mercado y especialización* / Data México. Descargado de <https://www.economia.gob.mx/datamexico/es/profile/product/their-insulin-and-sales>
- de Estadística y Geografía, I. N. (2024, 26 de enero). *Estadísticas de defunciones registradas (edr)*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2024/EDR/EDR2023_En-Jn.pdf. ([Nota de prensa])
- De Leon, E. (2017). *Construcción y diseño de una cámara frigorífica*. Descargado de <https://www.edificacionescien.com/es/blog-cien-3/33-construcion-y-diseno-de-una-camara-frigorifica.html>
- De Salud, S. (2022, 8). *Normas oficiales mexicanas*. <https://www.gob.mx/salud/en/documentos/normas-oficiales-mexicanas-9705>.
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010, noviembre 23). *NOM-008-SCFI-2002: Sistema general de unidades de medida*. (Ciudad de México)
- Diario Oficial de la Federación DOF. (2010, noviembre 23). *NOM-012-ENER-2019: Eficiencia energética de unidades condensadoras y evaporadoras para refrigeración. Límites, métodos de prueba y etiquetado*. (Ciudad de México)
- Diario Oficial de la Federación (DOF). (2010, noviembre 23). *NOM-015-SSA2-2010: Para la prevención, tratamiento y control de la diabetes mellitus*. (Ciudad de México)
- Dincer, I., y Kanoglu, M. (2010). *Refrigeration systems and applications 2e: Dincer/refrigeration systems and applications*. Hoboken, NJ, Estados Unidos de América: Wiley-Blackwell.
- Dincer, I., y Kanoglu, M. (2010). *Refrigeration systems and applications*. United Kingdom: John Wiley and Sons Inc.
- DOI. (1952). *Report of the commissioner of patents for the year 1951*.
- Ecoproyecta. (2024, 8 de enero). *Plan director de los pozos de la nieve de sierra espuma*. <https://ecoproyecta.es/plan-director-pozos-nieve/>.

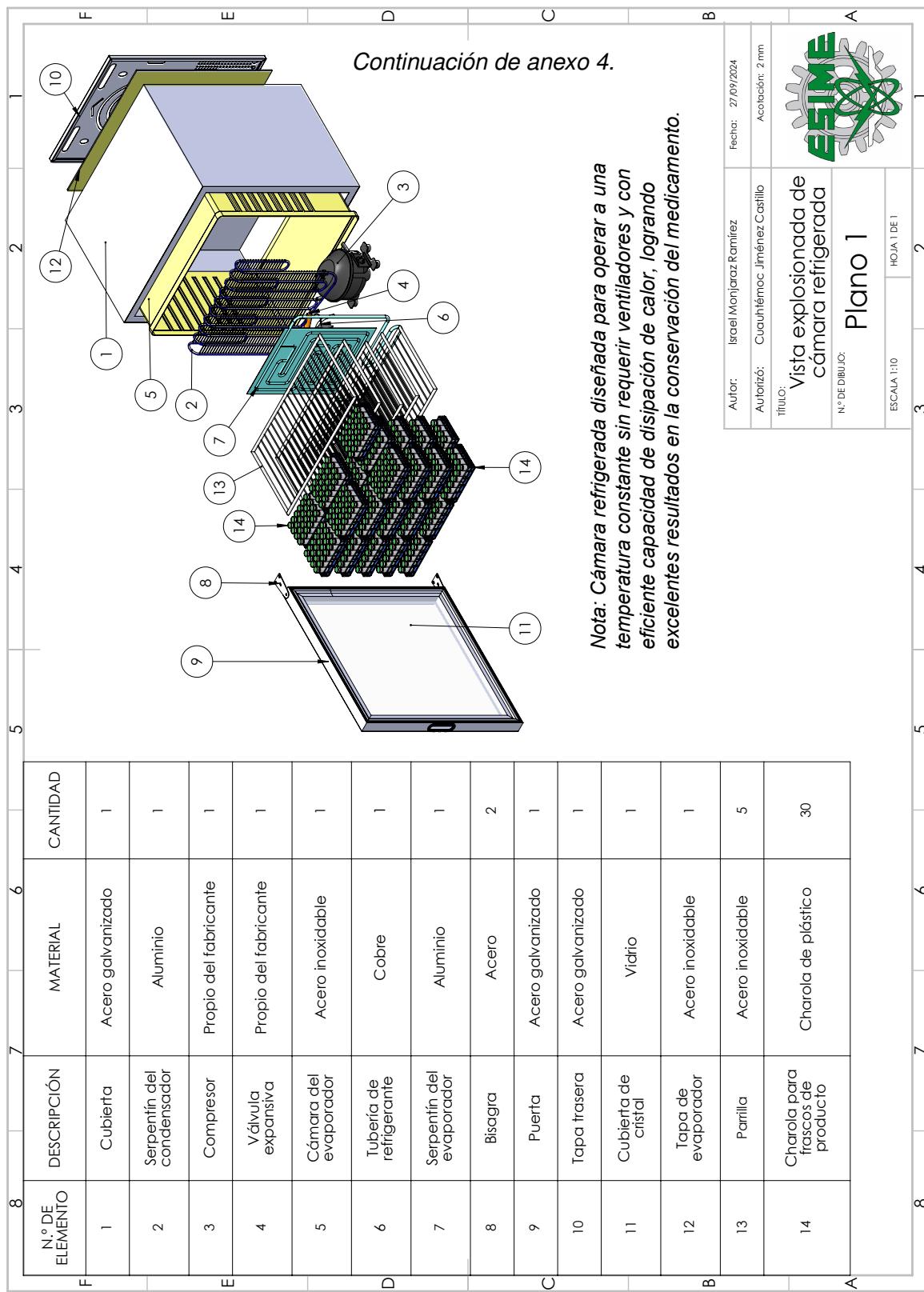
- Farmacias del Ahorro, F. (2024). *Insulina lantus*. <https://www.fahorro.com/lantus-100-u-ml-con-1-frasco-ampula-con-10-ml.html>. (Accessed: 2024-5-3)
- Farmacias San Pablo, F. (2024). *Insulina humalog lispro*. <https://www.farmaciasanpablo.com.mx/medicamentos/supervision-medica/g—h—i/humalog-insulina-lispro-suspension-inyectable-10-ml-frasco-ampula/p/000000000001550093>. (Accessed: 2024-5-3)
- Gobierno de México, g. (2018). *Carteras de necesidades tecnológicas: energía termosolar*. <https://goo.su/kKPpWLb>. (Recuperado el 26 de abril de 2024)
- González, F. (2017). *Insulina. estructura, síntesis, secreción, depuración y degradación*. Descargado de <http://www.mscbs.es/en/biblioPublic/publicaciones/docs/mellitus.pdf> (Academia Biológica Digital N. 71)
- Grupo CIAT. (2011, diciembre). *El grupo CIAT refuerza su compromiso medioambiental implementando el ecodiseño en sus sistemas de climatización y refrigeración*. <https://www.construible.es/2011/12/20/el-grupo-ciat-refuerza-su-compromiso-medioambiental>. (Accessed: 2024-5-3)
- HealthCentral. (2022, enero 10). *A beginner's guide to taking insulin*. Descargado de <https://www.healthcentral.com/slideshow/beginners-guide-taking-insulin> ([Imagen])
- Heinemann, L., Braune, K., Carter, A., Zayani, A., y Krämer, L. A. (2020, 1). Insulin storage: a critical reappraisal. *Journal of diabetes science and technology*, 15(1), 147–159. <https://doi.org/10.1177/1932296819900258>. doi: 10.1177/1932296819900258
- Hernández-Ávila, M., Gutiérrez, J. P., y Reynoso-Noverón, N. (2013). Diabetes mellitus en México: El estado de la epidemia. *Salud Pública de México*, 55(Supl. 2), s129–s136. Descargado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342013000800009&lng=es&tlang=es (Recuperado el 6 de marzo de 2024)
- Hogartecnocasa. (2016, 12). *Diseño moderno y flexible en refrigeración*. <https://hogartecnocasa.wordpress.com/2016/12/24/diseno-moderno-flexible-en-refrigeracion/>.
- Hundy, G. F., Trott, A. R., y Welch, T. C. (1984). *Refrigeration and air conditioning* (4th ed.). El Sevier: Butterworth-Heinemann.
- HVAC. (2016, 5). *Criterios de selección para centrales frigoríficas*. <https://www.mundohvacr.com/2012/05/criterios-de-seleccion-para-centrales-frigorificas/>.
- Inditer. (2023, 10). *Componentes esenciales en sistemas de refrigeración industrial*. <https://inditer.es/blog/componentes-en-refrigeracion-industrial/>.
- Intarcon. (s.f.). *TECFRINOR - Calculadora frigorífica*. <https://www.tecfrinor.com/calculadora/calc.html>.
- Intarcon. (2023, 1). *Ecodiseño: Unidades condensadoras y enfriadoras de proceso*. <https://www.intarcon.com/ecodiseno-unidades-condensadoras-y-enfriadoras-de-proceso/>.
- ISO - Organización Internacional de Normalización. (2024, 9). Descargado de <https://>

- www.iso.org/es/contents/data/standard/05/15/51527.html
- Jacob, J. (2023). Insulin storage guidance for patients with diabetes using insulin. *Indian Journal Of Endocrinology And Metabolism*, 27(2), 93. Descargado de <https://doi.org/10.4103/2230-8210.374161> doi: 10.4103/2230-8210.374161
- JR, A. A. (2013). *Historia de la refrigeración: Frío el.* <https://aireacondicionadojr.blogspot.com/2013/02/historia-de-la-refrigeracion-frio-el.html>.
- Khurana, G., y Gupta, V. (2019). Effect on insulin upon storage in extreme climatic conditions (temperature and pressure) and their preventive measures. *Journal of Social Health and Diabetes*, 07, 006–010.
- Ledesma, D. (2024). *Comunicación personal.* Unidad Médica Familiar 40: Instituto Mexicano del Seguro Social.
- Liu, H., Sun, H., Hao, M., y Liu, J. (2021, 11). Analysis and modeling of air conditioner usage behavior in residential buildings using monitoring data during hot and humid season. *Energy and buildings*, 250, 111297. <https://onx.la/16945>. doi: 10.1016/j.enbuild.2021.111297
- Lucidchart. (2022). *Qué es un diagrama de flujo.* <https://www.lucidchart.com/pages/es/que-es-un-diagrama-de-flujo>.
- Madriz-Ramírez, M. F., Solano-Núñez, K. A., y Rodríguez-Calvo, M. (2022, 11). Analysis of a cooling system for robotic joints using a computational fluid dynamics study. *Tecnología en marcha.* <https://acortar.link/70GgkJ>. doi: 10.18845/tm.v35i9.6488
- Manzanelli. (2023, 6). *Norma ISO 5457.* Descargado de <https://normasiso.org/norma-iso-5457/>
- Marrelli, S. (2011). *Educación tecnológica: necesidades.* <https://sebamarrelli.blogspot.com/p/necesidades.html>. (Recuperado el 26 de abril de 2024)
- Muciño, L. E. S. (2024). Guía de diseño [Manual de software informático]. PDF. (Manual)
- NovoNordisk. (2021). *100 años de insulina.* Descargado de <https://www.novonordisk.com.mx/insulin-100-years.html>
- OPS-ONU. (2024, 6). *Diabetes.* Descargado de <https://www.paho.org/es/temas/diabetes>
- Parise, J. A. R., y Marques, R. P. (2005, 11). The Role of Heat Transfer in Refrigeration. *Heat transfer engineering*, 26(9), 1–4. <https://doi.org/10.1080/01457630500205521> doi: 10.1080/01457630500205521
- R., E. (2022, 23 de 11). *Solarchill, el refrigerador Solar que salva vidas [Imagen].* <https://ecoinventos.com/refrigerador-solar/>. (Obtenido de Ecoinventos)
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.7 en línea].* <https://dle.rae.es>. ([Fecha de la consulta])
- Real Academia Española. (2023). *Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.7 en línea].* <https://dle.rae.es>. ([Fecha de la consulta])
- Refrigeradores de laboratorio. (2013, 27 de 9). *Refrigerador de laboratorio de compresión eléctrica [Imagen].* <https://blogquimobasicos.com/2013/01/29/1096/#more-1096>. (Obtenido de Blog Quimobásicos: Quimobásicos)

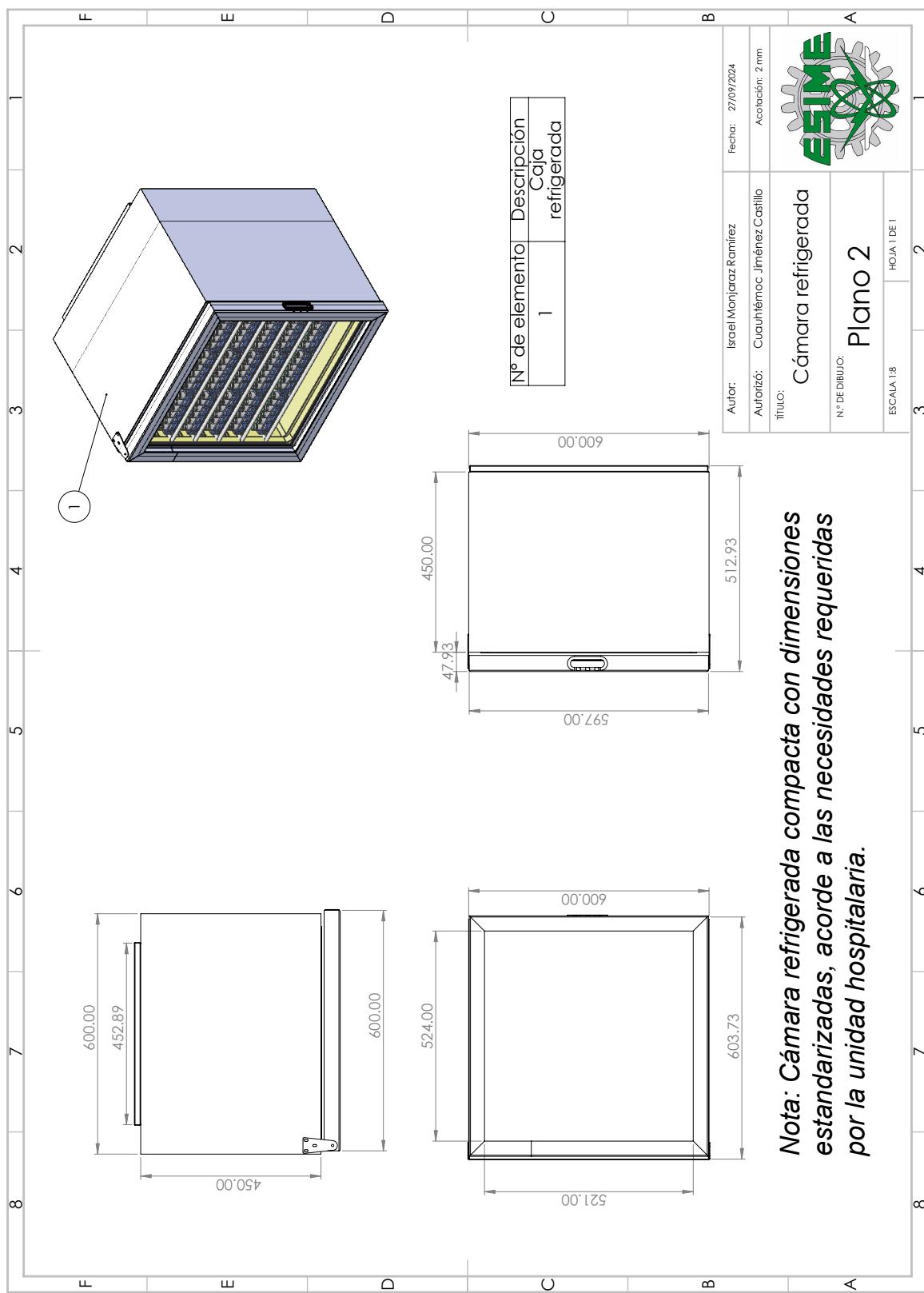
- Rio, S., Isaza-Roldan, C., Jara, N., Mejia, H., y Ospina, J. (2014, 06). Estudio de la carga térmica en refrigeradores domésticos para climas tropicales..
- Salvatore, R. G. W. (2015, 5). *Diseño y construcción de una cámara frigorífica modular de 9.6m3 para conservación de vacunas*. Descargado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/9248>
- SEMOVI. (2024). *Movilidad integrada*. Descargado de https://app.semovi.cdmx.gob.mx/visor_sitp/
- Sistemas de ventilación S&P, S. (2023, 11). *Cálculo de cargas térmicas: conceptos básicos y métodos / S&P*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/calculo-cargas-termicas/>.
- Suarez, F. (2022, 4). *Motor Evaporador para tu Sistema de Refrigeración - Freeo*. <https://freeo.com.mx/motor-evaporador-para-tu-sistema-de-refrigeracion/>.
- Tantau, T. (2013). Graph drawing in TikZ. En *Proceedings of the 20th international conference on graph drawing* (pp. 517–528). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. doi: 10.1007/978-3-642-36763-2_46
- Technology, H. (s.f.). *Refrigerador con revestimiento de hielo (vertical) [Imagen]*. <https://es.haiерmedical.com/vaccine-refrigerator-freezer/ice-lined-refrigerador-vertical.html>. (Obtenido de Haier Biomedical)
- Theoms. (2023, 6). *Un poco de teoría: Etapas del Ciclo de Refrigeración*. <https://www.kosner.es/ciclo-de-refrigeracion/>.
- Universidad de Guanajuato. (2022, julio). *Clase digital 4. componentes de un sistema de refrigeración*. <https://blogs.ugto.mx/rea/clase-digital-4-componentes-de-un-sistema-de-refrigeracion/>. Sistema Universitario de Multimodalidad Educativo (SUME) - Universidad de Guanajuato. (Accessed: 2024-6-07)
- U.S. Food And Drug Administration. (2017, septiembre 21). *Información sobre el almacenamiento de insulina y el cambio entre productos durante una emergencia*. Descargado de <https://lc.cx/Gn0AbV> ([Imagen])
- Velazquez, b. M. (2020). *Cargas térmicas en refrigeración*. <https://shre.ink/8pjQ>. (Accessed: 2024-5-02)
- Vidyaputra. (s.f.). *40 lecciones sobre refrigeración y aire acondicionado del iit kharagpur. material didáctico para los estudiantes o como referencia para los ingenieros*. <https://vidyaputrasite.files.wordpress.com/2015/12/40-lessons-of-rac-from-iit-kharagpur-by-vidyaputra.pdf>. (Recuperado el 13 de marzo de 2024)
- Área tecnologia. (2016). *El interruptor magnetotérmico. funcionamiento, curvas, selectividad*. Descargado de https://www.areatecnologia.com/electricidad/magnetotermico.html#google_vignette
- Çengel, Y. A., y Boles, M. A. (1999). *Termodinámica* (1a ed. ed.). México: McGraw-Hill.

Anexos: Planos de Ingeniería

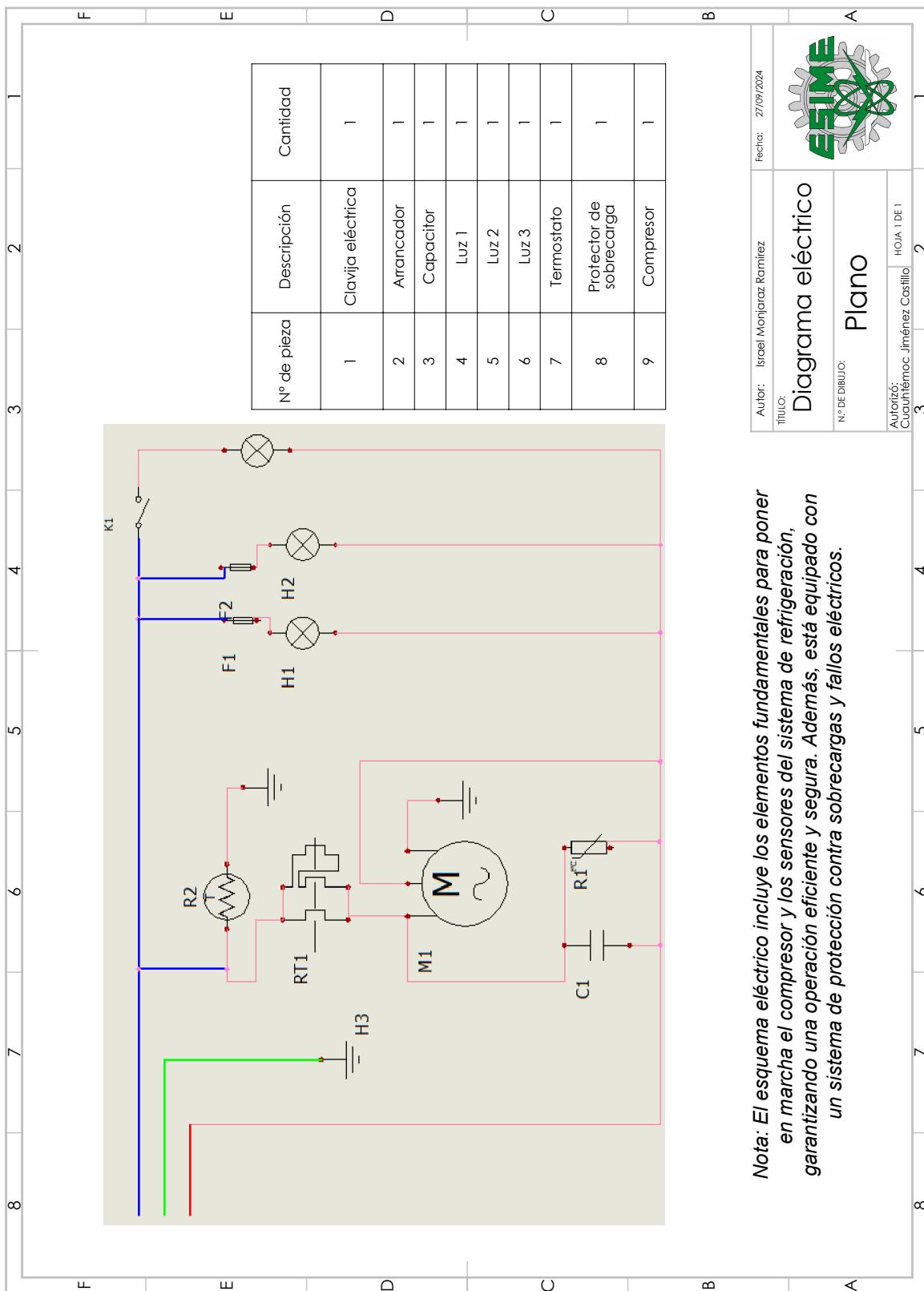
6.1. Anexo 1. Vista explosionada de la cámara de refrigeración



6.2. Anexo 2. Cuatro vistas de la cámara de refrigeración



6.3. Anexo 3. Diagrama eléctrico completo



Tablas

Anexo 4. Requerimientos y propiedades de almacenamiento para productos perecederos

Mercancía	Condiciones de Almacenamiento			Punto de Congelación más alto °F	Calor Específico Arriba del punto de congelación BTU / Lb / °F	Calor Específico Abajo del punto de congelación BTU / Lb / °F	Calor Latente de Fusión BTU / Lb	Densidad Aprox. de la Carga del Producto Lb / pie³
	Temp. Almacenamiento °F	Humedad Relativa %	Vida* Aprox. de Almacenamiento					
Manzanas	30-40	90	3-8 meses	29. 3	0. 87	0. 45	121	28
Espárragos	32-36	95	2-3 semanas	30. 9	0. 94	0. 48	134	25
Aguacates	45-55	85-	2-4 semanas	31. 5	0. 72	0. 40	94	19
Plátanos	55-65	85-95	-	30. 6	0. 80	0. 42	108	-
Habas	-	-	-	30. 1	0. 73	0. 40	40	-
Secas	-	-	-	-	0. 30	0. 24	-	-
Frijol verde(ejote)	40-45	90-95	7-10 días	30. 7	0. 91	0. 47	128	14
Lima	32-40	90	1 semana	31. 0	0. 73	0. 40	94	-
Cerveza barril	35-40	-	3-8 semanas	28. 0	0. 92	-	129	-
Botellas, latas	35-40	65 o abajo	3-6 meses	28. 0	0. 92	-	129	-
Remolacha, residuos	32	95-100 ¹	4-6 meses	30. 1	0. 90	0. 46	126	23
Zarzamora	31-32	95	3 días	30. 5	0. 88	0. 46	122	19
Pan	-	-	1-3 meses	16 a 20	0. 70	0. 34	46-53	-
Masa	35-40	85-90	3-7 horas	-	0. 75	-	-	-
Brocoli brotado	32	95	10-14 días	29. 0	0. 92	0. 47	130	13
Coles brotando	32	95	3-5 semanas	30. 5	0. 88	0. 46	122	-
Col(Col mariposa)	32	95-100	3-4 meses	30. 4	0. 94	0. 47	132	17
Zanahoria madura	32	98-100	5-9 meses	29. 5	0. 90	0. 46	136	22
Colliflor	32	95	2-4 semanas	29. 0	0. 93	0. 47	132	16
Apio	32	95	1-2 meses	31. 1	0. 95	0. 48	135	30
Cereza agria	31-32	90-95	3-7 días	29. 0	0. 87	-	120	18
Dulce	30-31	90-95	2-3 semanas	28. 8	0. 84	-	-	-
Chocolate	50-65	40-50	2-3 meses	95-85	0. 30	0. 55	40	-
Cocoa	32-40	50-70	1 año, más	-	-	-	-	-
Coco	32-35	80-85	1-2 meses	30. 4	0. 58	0. 34	67	-
Café verde	35-37	80-85	2-4 meses	30. 9	0. 30	0. 24	14-21	-
Maíz dulce(fresco)	32	95	4-8 días	-	0. 79	0. 42	106	16
Etoles	-	-	-	28. 9	0. 79	0. 42	106	-
Pepino	50-55	90-95	10-14 días	31. 1	0. 97	0. 49	137	20
Pasas,grosella	31-32	91-95	10-14 días	30. 2	0. 88	0. 45	120	-
Productos lácteos								
Queso cheddar	40	65-70	6 meses	8. 0	0. 50	0. 31	53	40
Queso procesado	40	65-70	12 meses	19. 0	0. 50	0. 31	56	40
Mantequilla	40	75-85	1 mes	4a31	0. 50	0. 25	23	-
Crema	35-40	-	2-3 semanas	31. 0	0.66-0.80	0.36-0.42	79-107	-
Helado	-20 a -15	-	3-12 meses	21. 0	0.66-0.70	0.37-0.39	86	25
Leche entera líquida								
Pasteurizada grado A	32-34	-	2-4 meses	31. 0	0. 3	0. 46	125	-
Condensada, endulzada	40	-	1 5 meses	5. 0	0. 42	0. 28	40	-
Evaporada	40	-	2 4 meses	29. 5	0. 79	0. 42	106	-
Dátil secado	0 ó 32	75 o menos	6-12 meses	3. 7	0. 36	0. 26	29	24
Zarzamora	31-32	90-95	3 días	27. 0	0. 88	-	-	-
Frutas secas	32	50-60	9-12 meses	-	0.31-0.41	0. 26	20-37	45
Berenjena	45-50	90-95	7-10 días	30. 6	0. 94	0. 48	132	-
Huevo	29-31	80-85	5-6 meses	28. 0	0. 73	0. 40	96	19
Refrigerado en cultivo	50-55	70-75	2-3 semanas	28. 0	0. 73	0. 40	96	19
Congelado entero	0 ó abajo	-	un año, más	28. 0	0. 73	0. 42	106	41
Higo seco	32-40	50-60	9-12 meses	-	0. 39	0. 27	34	45
Frésco	31-32	85-90	7-10 días	27. 6	0. 82	0. 43	112	21
Pescado fresco	30-35	90-95	5-15 días	28. 0	0.70-0.86	0.38-0.45	89-122	-
Pescado congelado	-20 a -4	90-95	6-12 meses	28	0. 76	0. 41	101	-
En hielo	-	-	-	-	0. 76	0. 41	101	-
Abadejo, bacalao	30-35	90-95	15 días	28	0. 82	0. 43	112	35
Salmon	30-35	90-95	15 días	28	0. 71	0. 39	92	33
Ahumado	40-50	50-60	6-8 meses	-	0. 70	0. 39	92	-
Camarón	31-34	95-100	12-14 días	28	0. 86	0. 45	119	-
Cangrejos, langostas, mariscos frescos	30-33	86-95	3-7 días	28. 0	0.83-0.90	0.44-0.46	113-125	-
Atún	30-35	90-95	15 días	28	0. 76	0. 41	100	35
Forro de piel y tejidos	34-40	45-55	varios años	-	-	-	-	-
Ajo seco	32	65-70	6-7 meses	30. 5	0. 69	0. 40	89	-
Grosellia espinoza	31-32	90-95	2-4 semanas	30. 0	0. 90	0. 46	126	19
Toronja	50-60	85-90	4-6 semanas	30. 0	0. 91	0. 46	126	-
Uva tipo americana	31-32	85-90	2-8 semanas	29. 7	0. 86	0. 44	116	29
Tipo europea	30-31	90-95	3-6 meses	28. 1	0. 86	0. 44	116	29
Verdes frondosas	32	95	10-14 días	30. 0	0. 91	0. 48	136	32
Guayaba	45-50	90	2-3 semanas	-	0. 86	-	-	-
Miel	38-50	50-60	un año, más	-	0. 35	0. 26	26	-
Rábano	30-32	95-100	10-12meses	28. 7	0. 78	0. 42	104	-
Col rizada	32	95	3-4 meses	31. 1	0. 89	0. 46	124	-
Colinabo	32	95	2-4 semanas	30. 2	0. 92	0. 47	128	-
Puerro verde	32	95	1-3 meses	30. 7	0. 88	0. 46	126	-
Limones	32 ó 50-58	85-90	1-6 meses	29. 4	0. 91	0. 46	127	33
Lechuga	32-34	95-100	2-3 semanas	31. 7	0. 96	0. 48	136	25
Limas	48-50	85-90	6-8 semanas	29. 1	0. 89	0. 46	122	32

*No se basa en mantener un valor nutricional

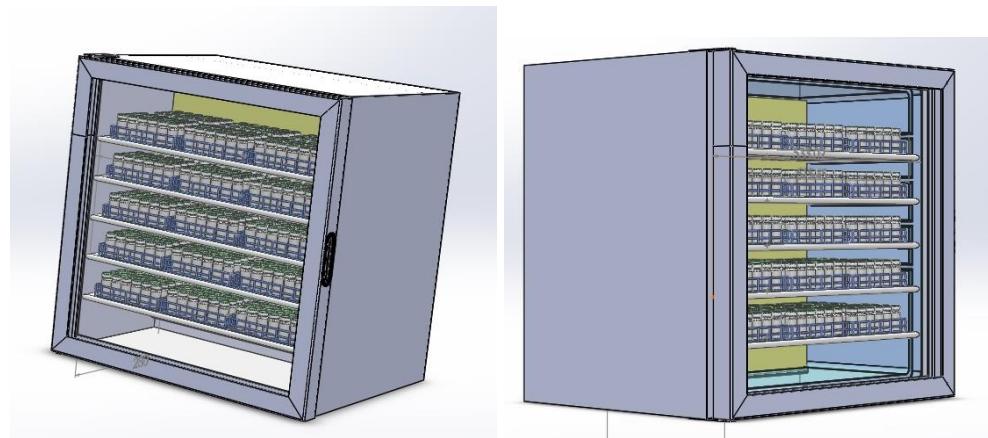
Reimpreso con permiso de ASHRAE

Continuación de anexo 4.

Mercancía	Condiciones de Almacenamiento			Punto de congelación Más alto °F	Calor Específico Arriba del punto de congelación BTU / Lb / °F	Calor Específico Abajo del punto de congelación BTU / Lb / °F	Calor Latente de Fusión BTU / Lb	Densidad Aprox. de la Carga del producto Lb / pie³
	Temp. Almacenamiento °F	Humedad Relativa %	Vida* Aprox. de Almacenamiento					
Jarabe de Maple	75 - 80	60 - 65	1 año, más	-	0.24	0.21	7	-
Mangos	55	85 - 90	2 - 3 semanas	30.3	0.85	0.44	117	-
Carne								
Tocino curado estilo granja	60 - 65	85	4 - 6 meses	-	0.30 - 0.43	0.24 - 0.29	18 - 41	57
Carne de res	32 - 34	82 - 92	1 - 6 semanas	28 - 29	0.70 0.84	0.38 - 0.43	89 - 110	-
Jamones de pierna y espadilla	32 - 34	85 - 90	7 - 12 días	28 - 29	0.58 - 0.63	0.34 - 0.36	67 - 77	37
Curado	60 - 65	50 - 60	0 - 3 años	-	0.52 - 0.56	0.32 - 0.33	57 - 64	-
Cordero fresco	32 - 34	85 - 90	5 - 12 días	28 - 29	0.68 - 0.76	0.38 - 0.51	86 - 100	-
Hígado congelado	-10 - 0	90 - 95	3 - 4 meses	-	-	0.41	100	-
Cerdo fresco	32 - 34	85 - 90	3 - 7 días	28 - 29	0.46 - 0.55	0.30 - 0.33	46 - 63	-
Embutido ahumado	40 - 45	85 - 90	6 meses		0.68	0.38	86	-
Fresco	32	85 - 90	1 - 2 semanas	26.0	0.89	0.56	93	-
Chuleta de ternera fresca	32 - 34	90 - 95	5 - 10 días	28 - 29	0.71 - 0.76	0.39 - 0.41	92 - 100	-
Melón cantalupo	36 - 40	90 - 95	5 - 15 días	29.9	0.93	0.48	132	25
Melón dulce	45 - 50	90 - 95	3 - 4 semanas	30.3	0.94	0.48	132	24
Sandía	40 - 50	80 - 90	2 - 3 semanas	31.3	0.97	0.48	132	27
Hongos, champiñón	32	90	3 - 4 días	30.4	0.93	0.47	130	-
Leche	34 - 40	-	7 días	31	0.93	0.49	124	64
Nectarinas	31 - 32	90	2 - 4 semanas	30.4	0.90	0.49	119	-
Nueces secas	32 - 50	65 - 75	8 - 12 meses	-	0.22 - 0.25	0.21 - 0.22	4 - 8	25
Margarina	35	60 - 70	1 año, más	-	0.38	.25	22	-
Aceituna fresca	45 - 50	85 - 90	4 - 6 semanas	29.4	0.80	0.42	108	-
Cebolla, Cebolla estibada	32	65 - 70	1 - 8 meses	30.6	0.90	0.46	124	-
Verde	32	95	3 - 4 semanas	30.4	0.91	-	-	22
Naranjas	32 - 48	85 - 90	3 - 12 semanas	30.6	0.90	0.46	724	34
Jugo de naranja	30 - 35	-	3 - 6 semanas	-	0.91	0.47	128	-
Papayas	45	85 - 90	1 - 3 semanas	30.4	0.82	0.47	130	-
Perejil	32	95	1 - 2 meses	30.0	0.88	0.45	122	-
Duraznos y nectarines	31 - 32	90	2 - 4 semanas	30.3	0.90	0.46	124	33
Peras	29 - 31	90 - 95	2 - 7 meses	29.2	0.86	0.45	118	47
Pimiento dulce	45 - 50	91 - 95	2 - 3 semanas	30.7	0.94	0.47	132	41
Pimientos, Chile seco	32 - 50	60 - 70	6 meses	-	0.30	0.24	17	-
Piñas maduras	45	85 - 90	2 - 4 semanas	30.0	0.88	0.45	122	25
Ciruelas, incluye ciruela pasa	31 - 32	90 - 95	2 - 4 semanas	30.5	0.88	0.45	118	22
Granada	32	90	2 - 4 semanas	26.6	0.87	0.48	112	-
Semilla vegetal	32 - 50	50 - 65	10 - 12 meses	-	0.29	0.23	16	-
Maíz palomero	32 - 40	85	4 - 6 meses	-	0.31	0.24	19	-
Papás cosecha reciente	50 - 55	90	0 - 2 meses	30.9	0.85	0.44	116	42
Cosecha anterior	38 - 50	90	5 - 8 meses	30.9	0.82	0.43	111	-
Aves pollo fresco	32	85 - 90	1 semana	27.0	0.79	0.42	106	38
Aves congeladas	-10 - 0	90 - 95	12 meses	27.0	0.79	0.37	106	-
Ganso fresco	32	85 - 90	1 semana	27.0	0.57	0.34	67	-
Pavo fresco	32	85 - 90	1 semana	27.0	0.64	0.37	79	25
Calabaza	50 - 55	70 - 75	2 - 3 meses	30.5	0.92	0.47	130	-
Membrillo	31 - 32	90	2 - 3 meses	28.4	0.88	0.45	122	-
Rábano preempacado	32	95	3 - 4 semanas	30.7	0.95	0.48	134	-
Pasas secas	40	60 - 70	9 - 12 meses	-	0.47	0.32	43	45
Conejo fresco	32 - 34	90 - 95	1 - 5 días	-	0.74	0.40	98	22
Frambuesa negra	31 - 32	90 - 95	2 - 3 días	30.0	0.84	0.44	122	-
Frambuesa roja	31 - 32	90 - 95	2 - 3 días	30.9	0.87	0.45	121	-
Colinabo, nabó sueco	32	98 - 100	4 - 6 meses	30.1	0.91	0.47	127	-
Salsifí	32	98 - 100	2 - 4 meses	30.0	0.83	0.44	113	-
Espinacas	32	95	10 - 14 días	31.5	0.94	0.48	132	31
Calabaza de verano	32 - 50	85 - 95	5 - 14 días	31.1	0.95	0.48	135	-
Calabaza de invierno	50 - 55	70 - 75	4 - 6 meses	30.3	0.91	0.48	127	-
Fresas frescas	31 - 32	90 - 95	5 - 7 días	30.6	0.92	0.42	129	40
Azúcar, Maple	75 - 80	60 - 65	1 año, más	-	0.24	0.21	7	-
Papás dulces	55 - 60	85 - 90	4 - 7 meses	29.7	0.75	0.40	97	25
Almíbar, Maple	31	60 - 70	1 año, más	-	0.48	0.31	51	-
Mandarinas	32 - 38	85 - 90	2 - 4 semanas	30.1	0.90	0.46	125	-
Tabaco, Cigarrillos	35 - 46	50 - 55	6 meses	25.0	-	-	-	-
Cigarrillos	35 - 50	60 - 65	2 meses	25.0	-	-	-	-
Tomates, verde maduro	55 - 70	85 - 90	1 - 3 semanas	31.0	0.95	0.48	134	25
Tomate firme maduro	45 - 50	85 - 90	4 - 7 días	31.1	0.94	0.48	134	21
Nabos raíces	32	95	4 - 5 meses	30.1	0.93	0.47	130	-
Verduras mixtas	32 - 40	90 - 95	1 - 4 semanas	30.0	0.90	0.45	130	25
Camotes	60	85 - 90	3 - 6 meses	28.5	0.79	0.40	105	-
Levadura comprimida de panadería	31 - 32	-	-	-	0.77	0.41	102	-

*No se basa en mantener un valor nutricional

Imágenes

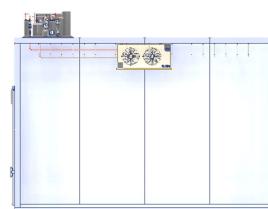


Anexo 5. Idea general de las divisiones al interior de la cámara.

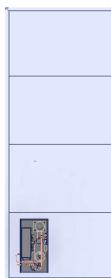
VISTA FRONTAL



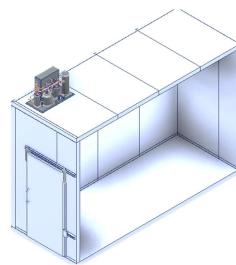
VISTA LATERAL DERECHA



VISTA SUPERIOR



VISTA SUPERIOR



Anexo 6. Vistas de la cámara (diseño preliminar - capítulo 3).



A-500

Cuando su carga se merece lo mejor de lo mejor

UNIDAD Anchura 2076 mm x Profundidad 440 mm x Altura 2270 mm

- Motor de 4 velocidades conforme con la normativa MMNC regulado electrónicamente.
- Supervisión del consumo de combustible.
- El control de la temperatura más preciso del mercado
- El descenso de la temperatura más rápido
- Caudal de aire totalmente variable e independiente de la velocidad del motor de la unidad
- La unidad de alta capacidad más silenciosa del mercado

R E N D I M I E N T O			
CAPACIDAD DE REFRIGERACIÓN			
CAPACIDAD NETA DE REFRIGERACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES A.T.P. A UNA TEMPERATURA AMBIENTE DE 30°C			
Capacidad durante el funcionamiento del motor a 0°C	19500 W	CAUDAL DE AIRE INDEPENDIENTE FROM UNIT ENGINE SPEED	
Capacidad durante el funcionamiento del motor a -20°C	10400 W	Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Default @ Descenso de la temperatura	5500 m ³ /hr
Capacidad durante el funcionamiento eléctrico a 0°C	14600 W	Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Max @ Descenso de la temperatura	6000 m ³ /hr
Capacidad durante el funcionamiento eléctrico a -20°C	8400 W	Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Default @ Set Point	3400 m ³ /hr
CAPACIDAD DE CALEFACCIÓN			
Capacidad durante el funcionamiento del motor a -20°C	15900 W	Volumen del caudal de aire a 0 Pa de presión estática - Max @ Set Point	5500 m ³ /hr
DATOS TÉCNICOS			
PESO	MOTOR		
Evaporador ES150 MAX (x2)	830 kg	Intervalo de mantenimiento	3000 horas
		Nº de cilindros	4
		Altura del condensador con funcionamiento eléctrico	2,1
MOTOR ELÉCTRICO	RUIDO		
Voltage/fase/frecuencia	400/3/50/60/3/60	Diesel de alta velocidad	67 dB(A)
Potencia nominal	9.3 kW	Capacidad durante el funcionamiento eléctrico	64 dB(A)

Anexo 7. Manual ThermoKing.