

Universidad de Matanzas sede “Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ciencias Técnicas



**“Cálculo del balance térmico de una cámara frigorífica
para la conservación de pescado, del Frigorífico
de Cárdenas“**

Trabajo de Diploma en Ingeniería Mecánica

Autor: Jairon Suárez Canino

Tutor: M.Sc. Marlene Orama Ortega

Matanzas, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas «Camilo Cienfuegos» a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

RESUMEN

En el siguiente trabajo de diploma se calcula el balance térmico de una cámara frigorífica para la conservación de pescado, ubicada en el Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero, tomando como guía el método de cálculo descrito en el libro “Instalaciones frigoríficas” del colectivo de autores del Departamento de Refrigeración y Climatización del ISPJAE y apoyado en herramientas de computación. Para esto se ofrece un análisis de las principales ganancias de calor en la cámara, como lo son: las ganancias por la ventilación, por la explotación, por los productos, entre otras que se abordarán a lo largo del desarrollo de este trabajo.

Palabras claves: cámara frigorífica; balance térmico;

ABSTRACT

In the following diploma work, the thermal balance of a cold storage for fish conservation is calculated, located in Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero, taking as a guide the calculation method described in the book “Instalaciones frigoríficas” of the group by authors of the ISPJAE’s Refrigeration and Air Conditioning Department and supported by computer tools. For this, an analysis of the heat gains is offered, such as: the gains for ventilation, from exploitation, from products, among others that will be addressed throughout the development of this work.

Keywords: cold room, thermal balance

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	1
Capitulo1: Fundamentación teórica	3
1.1. Reseña histórica	3
1.2. Clasificación según la aplicación	4
1.3. Cámara de refrigeración. Concepto y clasificación	5
1.4. Constitución física de las cámaras de refrigeración	7
1.5. Características de las cámaras frigoríficas	7
1.6. Normas establecidas para el diseño de cámaras frías	8
1.7. Diseño de las cámaras frías	10
1.7.1. Aislamiento de la cámara frigorífica	10
1.7.2. Cerramientos	13
1.7.3. Techo y piso	16
1.7.4. Suelo	16
1.7.5. Cubierta	17
1.7.6. Comportamiento del panel de sándwich como aislante térmico	17
1.7.7. Comportamiento mecánico del panel sándwich	18
1.7.8. Eficiencia económica del panel sándwich	18
1.8. Cámaras frigoríficas para los productos cárnicos	18
1.9. Evaluación de los Sistemas de Refrigeración	20
1.10. Ubicación de los evaporadores en las cámaras frías	21
CAPITULO 2: Desarrollo y aplicación de la metodología	24
2.1. Reseña histórica de la entidad	24
2.2. Introducción	25
2.3. Calculo de la carga térmica de las cámaras frigoríficas	26
2.3.1. Ganancia de calor a través de los elementos constructivos.	26
2.3.2. Ganancia de calor de los productos durante su tratamiento térmico.	28
2.3.3. Ganancia de calor del pescado.	30
2.3.4. Ganancia de calor por la ventilación de la cámara frigorífica.	30
2.3.5. Ganancia de calor durante la explotación.	31
2.3.6. Ganancia de calor por la apertura de puertas.	33
2.3.7. Determinación de la carga sobre el equipamiento de enfriamiento y el compresor.	33
CONCLUSIONES.	38
RECOMENDACIONES.	39
Referencia Bibliográfica.	40
Anexos.	42

INTRODUCCIÓN

Han pasado definitivamente los tiempos en la conservación de los pescados en la propia casa, y también el de la adquisición de pescados conservados, pues el mercado ofrece la cantidad que se quiera de pescado fresco tanto en verano como en invierno y en esta época no son más caros que en aquellas. El proceso de refrigerado se ha acreditado como el mejor durante años y el consumidor no siente desconfianza frente a estos alimentos. La necesidad de una instalación o cámara frigorífica es el de “alargar” la vida de los productos alimenticios perecederos mediante su conservación en espacios cerrados y enfriados. Vale anotar que no se debe pensar solamente en lo que sucede en el presente, sino también en el futuro, ya que según las estadísticas podemos conocer estimativamente la demanda después de algunos años y pensar cómo se va a alimentar al sector hotelero, la solución inmediata sería la de producir más y la de conservar esta producción por medio de una óptima refrigeración.

Con el transcurso de los años y el crecimiento de las capacidades del sector hotelero las ventas de la empresa han experimentado incrementos acelerados. A su vez se ha logrado insertar en el sector turístico el consumo de productos nacionales, contribuyendo al desarrollo no solo del sector sino a la sustitución de importaciones lo que ha propiciado el ahorro de divisas por este concepto y su utilización en el desarrollo no solo de la industria sino en otras esferas de la vida económica y social del país. Por lo que las cámaras frigoríficas son imprescindibles para el cumplimiento de estas capacidades

Las carnes de animales (bovinos, porcinos, peces, aves) después de sacrificados no siguen ningún proceso natural salvo el ataque de microorganismos que, a temperatura ambiente, atacan los tejidos. La carne deja de ser comestible en 2-3 días. También en este caso, manteniendo las carnes a bajas temperaturas, el proceso de deterioro se puede evitar y así consumir la carne varios meses después del sacrificio.

Problema:

¿Cómo implementar una metodología de cálculo del balance térmico de una cámara frigorífica para la conservación de pescado, del Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero?

Objeto de investigación:

Cámara frigorífica del Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero.

Campo de acción:

Balance térmico de una cámara frigorífica.

Hipótesis:

Una metodología de cálculo del balance térmico de una cámara frigorífica permitirá conocer parámetros para el almacenamiento y conservación del pescado del Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero.

Objetivo general

Implementar una metodología de cálculo del balance térmico en el Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero para el almacenamiento y conservación de pescado.

Tareas necesarias para dar cumplimiento al objetivo del trabajo:

- 1- Realizar un análisis bibliográfico que permita el establecimiento del estado del arte sobre la temática tratada.
- 2- Determinar la metodología para el cálculo de la carga térmica de la cámara fría, empleada en el almacenamiento de pescado en el Frigorífico de Cárdenas.
- 3- Redactar informe técnico parcial

Se han empleado los siguientes **métodos de investigación:**

Consulta de expertos y búsqueda de bibliografía relacionada con el tema.

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En esta investigación se consultaron artículos de internet, manuales, guías, trabajos de diplomas sobre el tema y por supuesto los clásicos en la materia. Entre todos ellos se encontró un material que fue muy valioso: La guía básica del frigorista, (Refrigeración y climatización, 2008), que es una recopilación de artículos y las experiencias de numerosos reconocidos fabricantes: Pecomark, Danfoss, Emerson, Copeland, Carrier, etc. Esta cuenta con 15 capítulos, en el último capítulo se aborda lo relacionado al cálculo y diseño de los frigoríficos, útil para desarrollar parte del tema investigación.

1.1. Reseña histórica de la refrigeración.

La refrigeración es un proceso aislado que no necesita movimiento de aire y su temperatura es menor de 10°C. La historia de la refrigeración es tan antigua como la civilización misma. Se pueden distinguir dos períodos:

1. Refrigeración natural. Relacionada totalmente con el uso del hielo.
2. Refrigeración artificial. Mediante el uso de máquinas.

La refrigeración mecánica se usa actualmente en acondicionamiento de aire para el confort, así como congelación, almacenamiento, proceso, transporte y exhibición de productos perecederos. Ampliando estos conceptos, se puede decir que sin la refrigeración sería imposible lograr el cumplimiento de la mayoría de los proyectos que han hecho posible el avance de la tecnología, desde la construcción de un túnel, el enfriamiento de máquinas, el desarrollo de los plásticos, tratamiento de metales, pistas de patinaje, congelamiento de pescados en altamar, hasta la investigación nuclear y de partículas, aplicaciones en el campo de la salud y otros. (Martínez, 2003)

La refrigeración es una técnica que se ha desarrollado con el transcurso del tiempo y el avance de la civilización; al igual que la mayoría de las ciencias y técnicas, ha sido el resultado de las necesidades que la misma sociedad va creando a medida que avanzan los inventos en diferentes campos. La refrigeración contribuye a elevar el nivel de vida de los pueblos de todos los países.

Los avances logrados en refrigeración en los últimos años son el resultado del trabajo conjunto de técnicos, artesanos, ingenieros, hombres de ciencia y otros que han unido sus habilidades y conocimientos. La base sobre la que se fabrican nuevas sustancias y materiales la suministra la ciencia. Estos conocimientos son aplicados al campo de la refrigeración por aquellos que diseñan, fabrican instalan y mantienen equipos de refrigeración.

Las aplicaciones de la refrigeración son muy numerosas, siendo unas de las más comunes la conservación de alimentos, acondicionamiento ambiental (tanto de temperatura como de humedad), enfriamiento de equipos y últimamente en los desarrollos tecnológicos de avanzada: en el área de los ordenadores. (Alvarez Guerra, 2008)

1.2. Clasificación según la aplicación:

1. Refrigeración doméstica.
2. Refrigeración comercial.
3. Refrigeración industrial.
4. Refrigeración marina y de transporte.
5. Acondicionamiento de aire de “confort”.
6. Aire acondicionado automotriz.
7. Acondicionamiento de aire industrial.
8. Criogenia.

La primera aplicación de la refrigeración fue para la producción de hielo, hoy en día la refrigeración es esencial en la producción y distribución de alimentos y para el funcionamiento eficiente de la industria. La aplicación de la producción del hielo data del año 1838 a la necesidad de conservar el pescado por los pescadores, ya que estos no tenían ni tienen hoy en día otro método más eficiente para conservar ese producto hasta su llegada al puerto, para de ahí poder congelarlo. Está en estudio métodos más eficaces

de refrigeración mecánica para conservar el pescado. La refrigeración doméstica es empleada en refrigeradores y neveras para conservar y congelar todo tipo de alimentos y bebidas necesarias para el consumo humano. La refrigeración comercial se usa en la preparación de alimentos porque esta es el factor principal de esta preparación, también se usa en la conservación y congelación de todos los productos lácteos, las carnes y volatería, en las bebidas, en las confiterías, en el almacenamiento y distribución de alimentos, en las panaderías de productos congelados, en el almacenamiento en frío, etc. La refrigeración industrial se aplica en gran escala en las industrias químicas y en los procesos industriales. Estas industrias necesitan indudablemente la aplicación de la refrigeración en los procesos industriales que son: separación de gases, condensación de gases, desecado del aire, precipitación de un soluto desde una solución, almacenamiento a baja presión en estado líquido, proceso de enfriamiento, disipación del calor de reacción, recuperación de disolventes, control de fermentación y enfriamiento para la conservación.

El objetivo de la refrigeración mecánica es enfriar un objeto o ambiente por medio de los dispositivos desarrollados por el ser humano para este fin.

Para lograr este propósito se parte de conocimientos de la física de los materiales y en particular, los gases, según los cuales, el calor, como forma de energía, siempre tiende a fluir hacia un contorno más frío. Este proceso físico se efectúa a mayor o menor velocidad según las características de resistencia que oponga el material por el cual el calor circula, si es un sólido; o según la velocidad, forma, posición, densidad y otras propiedades, si se trata de un fluido como el aire o el agua. Por consiguiente, se ha hecho necesario definir una serie de fenómenos que involucran el proceso de enfriamiento y también crear herramientas que faciliten tanto el uso de esas definiciones como la comprensión directa a partir de las características de cada fenómeno representado. Tal es el caso de los diagramas, gráficos y ecuaciones, por citar algunos.

1.3. Cámaras de refrigeración. Concepto y clasificación.

Una cámara de refrigeración es un recinto aislado térmicamente dentro del cual se contiene materia para extraer su energía térmica. Esta extracción de energía se realiza por

medio de un sistema de refrigeración. Su principal aplicación es en la conservación de alimentos (productos agrícolas y carne de animales) o productos químicos.

A diferencia de lo comúnmente pensado una cámara de refrigeración no enfría, sino más bien extrae la energía expresada en calor contenida en su interior, todo esto por medio de un sistema frigorífico. Para esto en el interior de la cámara se ubica uno o más evaporadores de refrigerante (generalmente de tiro forzado, bien sea para evaporadores de expansión directa o evaporadores inundados según la naturaleza del sistema frigorífico), mientras el resto de los componentes del sistema se encuentran remotos.

El objetivo del evaporador es absorber la energía térmica -expresado como calor latente- al sucederse el cambio de estado del refrigerante; mientras el líquido se va evaporando a baja temperatura al interior de este intercambiador de calor este absorbe energía térmica del aire que circula por las paredes exteriores del evaporador. A su vez, el suministro de refrigerante es controlado por una válvula de expansión.

Por su parte, la cámara debe estar aislada térmicamente a fin de minimizar la transferencia de calor por su estructura propia. Esto se logra gracias a paneles frigoríficos contruidos con polímeros sintéticos de bajo coeficiente de transferencia de calor.

La técnica frigorífica tiene como tarea garantizar la creación de las condiciones tecnológicas óptimas con pérdidas cualitativas y cuantitativas mínimas del producto a expedir y gastos mínimos de energía y otros recursos materiales y humanos.

La posibilidad de ofrecer los frutos y las carnes durante un período más largo tiene una importancia alimenticia y económica muy grande. Para ello se almacenan los productos en dos frigoríficos a temperatura apropiada que permite ofrecerlo al consumidor mucho tiempo después de la cosecha. Hay tablas que indican a qué temperatura y humedad relativa y cuál es el tiempo máximo que es necesario mantener cada uno antes de enviarlos al mercado.

Las aplicaciones del frío artificial son innumerables y su campo de utilización se extiende cada día a nuevas industrias. De igual manera las formas de construir los frigoríficos también son diversas, aun así, se pueden dividir según la forma en que se construyen,

Refrigeradores contruidos de albañilería y que por consiguiente tienen un asentamiento fijo, se les conoce como cámara. Refrigeradores de madera, metálicos, u otro material, contruidos en forma de muebles portátiles, pueden tener uso de manera comercial o domésticos, en te caso son las vitrinas mostradoras, conservadoras de helado, refrigeradores, etc. Una variante de las cámaras y muebles citados la constituyen las cámaras desmontables, formadas por paneles sueltos que se ensamblan en el lugar de emplazamiento.

Los tipos de cámara suelen clasificarse en función de dos factores: la temperatura de almacenamiento y el área de aplicación.

En función de la temperatura de almacenamiento, se clasifican en cámaras de conservación y cámaras de congelación; en función del área de aplicación dependerá del uso al que esté destinado, siendo de ámbitos tan diversos como la farmacéutica, la floristería, la ingeniería, la investigación científica y hasta en la informática.

1.4. Constitución física de las cámaras de refrigeración.

La constitución o materialización de una cámara de refrigeración se define en función de la sollicitación térmica y condiciones medioambientales a las que esté sometida, es decir, su carga térmica y temperaturas tanto exterior como interior, entre otros parámetros a considerar. En resumidas cuentas, lo que define la materialización de las cámaras son los paneles autosoportantes de Poliestireno (POL), Poliuretano expandido (PUR) y Poliisocianurato (PIR) revestidos en láminas de acero prepintado.

1.5. Características de las cámaras frigoríficas.

El régimen de trabajo en las cámaras frigoríficas está definido por los siguientes parámetros.

- 1- Temperatura de bulbo seco del aire, tbs
- 2- Temperatura de bulbo húmedo del aire, tbh.
- 3- Velocidad del aire, wa.

- 4- Cambios del volumen libre de la cámara en la unidad de tiempo, a Composición gaseosa del aire.

De estos parámetros los más importantes y que generalmente se controlan son los dos primeros. Los demás se consideran de forma especial sólo en determinados casos, aunque tengan un rango de diseño específico para cada aplicación.

Las cámaras de enfriamiento se equipan con enfriadoras de aire y sistemas de distribución de aire, prevaleciendo la expansión directa del refrigerante primario como sistemas de enfriamiento. Los regímenes de enfriamiento dependen del método de enfriamiento y del producto particular, siendo generalmente superior a 12 °C la temperatura del aire que rodea a este último.

En este tipo de instalación el producto se congela después de su enfriamiento o directamente desde su estado fresco. Cuando se emplea el aire su temperatura es generalmente no inferior a -40 °C. La duración del proceso de congelación depende del espesor del producto, de la velocidad y temperatura del medio circundante y del método de congelación aplicado. Estas cámaras trabajan cíclicamente (carga y descarga periódica).

1.6. Normas establecidas para el diseño de cámaras frías.

Recomendaciones útiles para ahorro de energía en la refrigeración, en los nuevos proyectos, las remodelaciones o modernizaciones y en las instalaciones existentes

Garantizar que los proyectos de las nuevas cámaras se realicen con la relación óptima de volumen-superficie. La base de la cámara debe de ser cuadrada e igual a 4,7-6,0 veces la altura. Disminuye el área constructiva y la transferencia de calor.

Elaborar el diseño del frigorífico, de forma tal que las cámaras tengan la menor cantidad de paredes exteriores, con pre-cámaras, corredores, cortinas u otras soluciones que eviten pérdidas de frío (ganancia de calor) en las cámaras.

- Utilizar los grosores óptimos de aislamiento en las cámaras, equipos y tuberías, para obtener los menores costos totales.

- Utilizar instalaciones de refrigeración de dos etapas, cuando la relación de compresión sea mayor de 7 y cuando la instalación tenga dos o más temperaturas de evaporación. Disminuye el consumo de energía respecto a los sistemas con una sola etapa.
- Utilizar los enfriadores de las cámaras con refrigerante secundario, agua, salmuera o glicol, siempre que sea posible, para disminuir la carga de refrigerante primario.
- Utilizar evaporadores de placas, compresores de tornillos y condensadores evaporativos, como una de las variantes alternativas para evaluar la instalación.
- Utilizar recuperadores, preenfriadores y economizadores, cuando proceda.
- Garantizar la presión de condensación, acorde a los parámetros establecidos en la norma.
- Utilizar separadores de aceite de alta eficiencia, colectores de aceite y purgadores de gases incondensables.
- Utilizar condensador vertical, preferentemente, al condensador de casco y tubos horizontal. Disminuye los costos de explotación en la mayoría de los casos.
- Utilizar condensador evaporativo con preenfriador, preferentemente al condensador vertical. En eficiencia, ésta es una de las mejores soluciones.
- Garantizar el agua tratada para reducir al mínimo la posibilidad de incrustación de las sales que contiene el agua.
- Garantizar que el agua de enfriamiento y condensación, sea agua con un nivel de dureza inferior a 60 ppm, o que las sales sean solubles y no precipiten con el calor, provocando la incrustación de los equipos y tuberías de la instalación.
- En las cámaras de congelación o de conservación de productos congelados, establecer un régimen de desescarche, que permita mantener la capacidad frigorífica de los enfriadores de aire.
- Garantizar la limpieza de los intercambiadores de calor, con la periodicidad requerida, el mantenimiento y la pintura de todos los componentes de la instalación.
- Garantizar la señalización y los colores de las tuberías y equipos de la instalación de refrigeración.

1.7. Diseño de las cámaras frías.

El poder proyectar una instalación frigorífica es un acto de gran responsabilidad, deben de tenerse en cuenta múltiples variables, es necesario conocer la lógica que rige la elección o el dimensionado de los órganos principales del equipo, sea éste grande o pequeño

1.7.1. Aislamiento de la cámara frigorífica.

La definición de aislante térmico es aquel material usado en la construcción y caracterizado por su alta resistencia térmica, estableciendo una barrera al paso del calor entre dos medios que naturalmente tenderían a igualarse en temperatura.

La cámara debe ser lo más adiabática posible, para reducir al mínimo la entrada de calor, y así poder mantener las condiciones interiores con independencia del exterior. El aislamiento térmico permite reducir en lo posible las pérdidas de frío a través de paredes, techos, puertas y otros elementos, el aislamiento tiene mayor importancia cuanto menor es la temperatura interior, de modo que debe prestársele una especial atención en espacios destinados a congelación (Malgarejo, 1995)

Los objetivos fundamentales de los materiales aislantes en las instalaciones frigoríficas, son:

- Facilitar el mantenimiento de la temperatura adecuada en el interior de los recintos o tuberías aislados, ajustando las pérdidas de calor a unos valores prefijados por unidad de superficie o de longitud y evitar las condensaciones.
- Obtener un ahorro energético con un espesor económico óptimo.

Entre las cualidades más importantes exigibles a un buen aislante, se encuentran:

- Baja conductividad térmica.
- Muy poco higroscópico
- Imputrescible
- Incombustible

- Neutro químicamente frente a otros materiales y fluidos en contacto
- Plástico, adaptándose a las deformaciones.
- Facilidad de colocación
- Resistencia a la compresión y a la tracción.

El mejor aislante térmico es el vacío, pero debido a la gran dificultad para obtener y mantener condiciones de vacío, éste se emplea en muy pocas ocasiones. En la práctica se utiliza aire, que, gracias a su baja conductividad térmica y un bajo coeficiente de absorción de la radiación, constituye un elemento muy resistente al paso de calor. Sin embargo, el fenómeno de convección que se origina en las cámaras de aire aumenta sensiblemente su capacidad de transferencia térmica. Además, el aire debe de estar seco, sin humedad, lo que es difícil de conseguir en las cámaras de aire. (Gregorig, 1979) (Kerkn, 1998)

Por estas razones se utilizan como aislamiento térmico materiales porosos o fibrosos, capaces de inmovilizar el aire seco y confinarlo en el interior de celdillas más o menos estancas. Aunque en la mayoría de los casos el gas encerrado es aire común, en aislantes de celda cerrada (formados por burbujas no comunicadas entre sí, como en el caso del poliuretano proyectado), el gas utilizado como agente espumante es el que queda finalmente encerrado. También es posible utilizar otras combinaciones de gases distintas, pero su empleo está muy poco extendido. Se suelen utilizar como aislantes térmicos: lana de roca, fibra de vidrio, vidrio celular, espuma de poliuretano, aglomerados de corcho, etc.

En la actualidad son muy pocos los materiales utilizados en Cuba para el aislamiento de las cámaras frigoríficas, siendo los más importantes el poliuretano, el poliestireno expandido y el poliestireno extrusionado.

1.7.2. Cerramientos.

En la construcción y aislamiento térmico de las cámaras frigoríficas se distinguen dos grandes tipos, según se ejecuten “in situ” conforme a los métodos llamados tradicionales o por el contrario, que sean realizados esencialmente con la ayuda de elementos prefabricados. Las construcciones más recientes han recurrido, en su gran mayoría, a este segundo método (elementos prefabricados de panel sándwich frigorífico).

Almacenes frigoríficos contruidos “In Situ”

Los almacenes frigoríficos de carácter tradicional, constan habitualmente de una estructura pesada cuya inercia térmica es elevada, lo cual favorece una estabilidad de temperatura y humedad en el interior de la propia cámara frigorífica, larga duración de funcionamiento y elevada resistencia al fuego. Cuando el almacén frigorífico consta de varias cámaras frigoríficas el aislamiento térmico debe acomodarse a los imperativos de continuidad de las estructuras; se crean así puentes térmicos indeseables que provocan fenómenos de condensación como escarchas, perjudiciales para la buena conservación de las estructuras y los productos almacenados.

Cuando se trata de cámaras de congelación estos fenómenos requieren precauciones especiales en relación con los riesgos de resquebrajamiento de la solera frigorífica. Este era, en tiempos pasados, el único procedimiento utilizado, con un aislante a base de poliuretano proyectado ejecutado “in situ” por aplicación sobre muros de fábrica y pisos clásicos, tras confeccionar la barrera anti vapor.

Interiormente se encontraban protegidos por enlucidos armados y por solado. Este principio conducía a asegurar la continuidad del aislamiento vertical para cada cámara frigorífica, pero esto no evitaba las formaciones de escarcha en las zonas de fachada donde se produce el encuentro con los forjados.

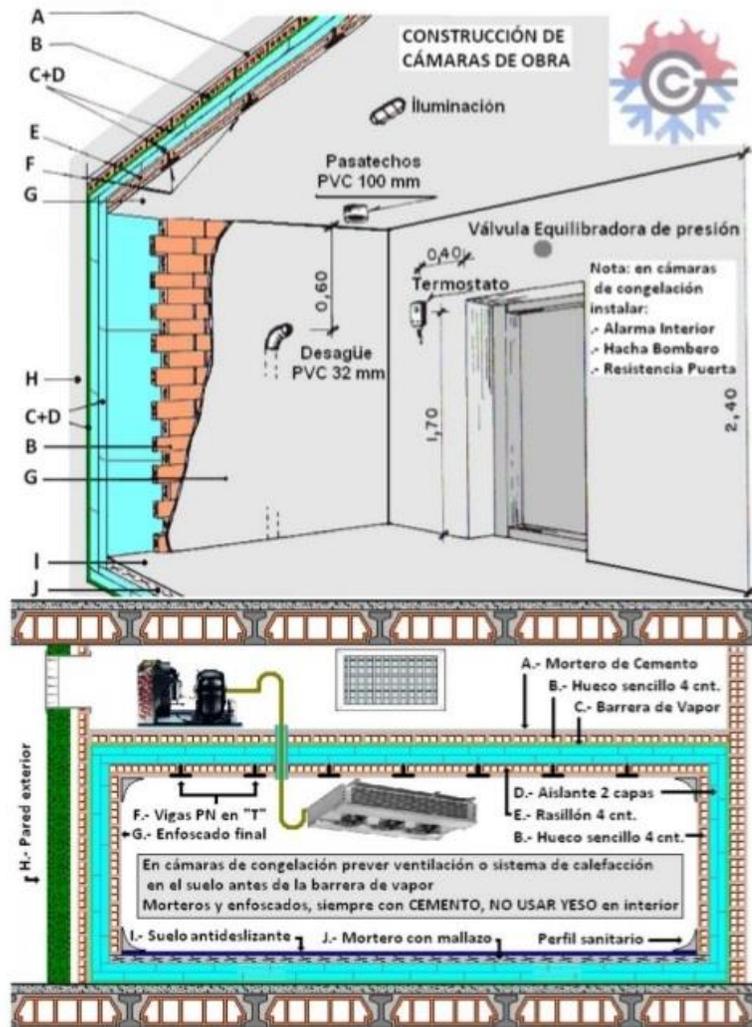


Figura 1. 1 Ejemplo de Frigorífico construido en el lugar.

Almacenes Frigoríficos construidos con panel sándwich prefabricado:

Este tipo de cámaras frigoríficas están totalmente generalizadas en la actualidad. Utilizan como elemento constructivo el panel sándwich frigorífico, a diferencia del aislamiento tradicional donde el aislante se proyecta sobre una construcción generalmente de fábrica. Este sistema, consta de dos planchas de acero, con una inyección en fábrica, de espumas de poliuretano, consiguiendo un producto final muy homogéneo, ligero y de una gran autoportancia.

1.7.3. Techos y pisos:

Existen distintas soluciones para techos y pisos de cámaras de refrigeración conforme su tamaño y temperatura de operación. En cámaras pequeñas, para los techos se pueden usar desde los mismos paneles de los paramentos verticales, dándole acabados especiales, hasta usar paneles especialmente diseñados para este fin, que tienen una terminación y ensamble especial (a pedido). En cámaras de mayor envergadura, estos deben ir colgados a la estructura matriz que cobija la cámara por medio de anclajes o elementos especiales; esto se hará por medio de cadenas o piolas metálicas, según su peso propio. Conforme el tamaño e intensidad de tráfico de la cámara se pueden utilizar paneles especialmente diseñados para ser utilizados como panel-piso los que tienen un revestimiento especial que permite un tráfico ligero pero no admiten vehículo motorizado alguno como los clásicos montacargas de cámaras industriales. (Malgarejo, 1995)

1.7.4. Suelo.

En una cámara frigorífica de conservación, las pérdidas térmicas ocasionadas por la ausencia de aislamientos en el suelo, son mínimas comparadas con el coste de adquisición y sobre todo de ejecución

Las cámaras de congelación, exigen obligatoriamente aislamiento térmico del suelo, de lo contrario, por la entrada de humedad y por la diferencia de gradiente térmico, se formaría hielo en el fondo, expandiéndose hacia arriba con fuerza suficiente para levantar y agrietar el suelo de la cámara frigorífica, pudiendo incluso, debilitar los cimientos del propio edificio.

Los suelos, tras haber compactado el terreno mediante la aportación de materiales adecuados, suele establecerse una capa de hormigón de limpieza que al mismo tiempo permite nivelar la superficie y formar las pendientes de la cámara en caso necesario. Sobre ella se ejecutará la barrera antivapor y seguidamente se colocará el espesor del material aislante necesario. Finalmente, se ejecutará el piso definitivo. Ver figura 1.2

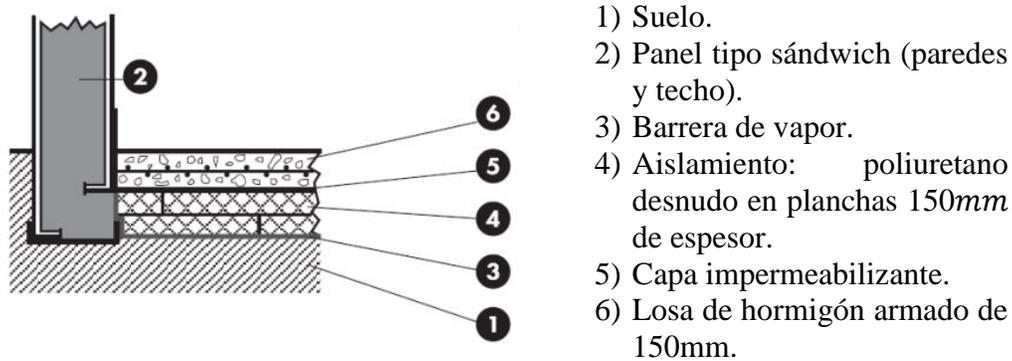


Figura 1.2 Estructura del suelo en una cámara fría.

1.7.5. Cubierta.

Cuando los techos no tienen que soportar cargas algunas, suelen construirse mediante materiales ligeros sobre los que se aplica poliuretano proyectado in situ; se colocan placas de poliestireno, o cualquier otro aislante, siendo preciso establecer exteriormente la barrera antivapor. (Sierra, Refrigeración industrial. Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas, 2012)

1.7.6. Comportamiento del panel sándwich como aislante térmico

La utilización del panel sándwich como aislante térmico, viene dada por ser un elemento constructivo que tiene como característica principal tener el menor coeficiente de conductividad térmica de los elementos conocidos. Por norma, el valor suele ser inferior a $0,025 \text{ [W/m}\cdot\text{K]}$ medido siempre, a una temperatura de 10°C . Por esta razón, el espesor que se utiliza suele ser inferior en comparación con otros tipos de materiales de carácter aislante. La imagen que aparece a continuación, muestra comparativamente, los espesores que se deben utilizar según cada material para obtener el mismo poder de aislamiento. (Koshade, 2010)



Figura 1.3 Espesor de materiales para el mismo aislamiento.

Como se observa el panel sándwich de poliuretano, es el material con mayor resistencia térmica de todos los utilizados en esta comparativa.

1.7.7. Comportamiento mecánico del panel sándwich

La alta capacidad portante de las 3 capas con las que está construido el panel sándwich, si se toman por separado, sería muy reducida, pero en cambio cuando las tres piezas se unen conformando el panel, se crea un producto de alto nivel de auto-portancia, y con muy alta resistencia a la flexión. (Koshade, 2010)

1.7.8. Eficiencia económica del panel sándwich

El panel sándwich es un elemento constructivo con una de las mejores relaciones prestación/coste lo que da una de las relaciones más ventajosas del mercado.

- Ligereza, que facilita la manipulación y la instalación in situ lo que reduce los tiempos en los montajes lo que lógicamente, actúa, de una manera muy favorable en la reducción de costes.
- Mantenimiento, no tiene costes en este sentido.
- Alto poder de aislamiento, esto permite un gran ahorro energético y por tanto las amortizaciones en inversión y eficiencia son superiores.
- Limpieza el montaje de panel sándwich se realiza en un entorno limpio y no produce residuos de importancia. (Koshade, 2010)

1.8. Cámaras frigoríficas para los productos cárnicos.

Las carnes ocupan un lugar importante en la ración alimentaria humana y a diferencia de otros productos tienen un costo de producción más elevado y una incidencia vital en el valor proteico de cada comida.

Los productos cárnicos han sido históricamente los que han ocupado una parte considerable de la capacidad frigorífica instalada en el mundo. La carga específica convencional de las cámaras se define sobre la base de carne congelada de primera categoría sin deshuesar. Ello hace de los productos cárnicos los alimentos que mayor

atención hayan recibido para su conservación, además se han visto favorecidos por las características de los productos cárnicos de no respirar como los productos de origen vegetal.

La elaboración térmica puede ser hasta temperaturas cercanas al punto de enfriamiento y muy por debajo de estas, o sea, de congelación.

Las cámaras convencionales son locales equipados con vías aéreas ($h=3,35$ m) con una capacidad de 5 a 25 toneladas. Los túneles son locales de no más de 3 m de ancho donde se crea una circulación forzada del aire más intensa, este último tiene indiscutibles ventajas en todo los índices técnico-económicos respecto al primero. El enfriamiento puede ser en una etapa, en dos etapas y programado. La intensificación de los dos primeros se realiza cargando cíclicamente la cámara, o sea sin realizar operaciones de carga o descarga durante el proceso.

El inmediato inicio del enfriamiento a baja temperatura tras la matanza, disminuye la intensidad de los procesos bioquímicos en la carne y, por consiguiente, la cantidad de calor que se libera en ellos es hasta 25.75 kJ/kg de tejido muscular y la merma del producto hasta 0.6%.

La humedad relativa del aire en la cámara debe ser de 95 a 98 % al inicio del enfriamiento y del 90 al 92 % al final de éste.

La duración del proceso de enfriamiento de la carne depende del tipo de sistema de enfriamiento, velocidad del aire, su temperatura y del espesor de la pieza de carne. Para lograr que el proceso no dure más de 12 horas hay que extraer de la cámara no menos de 3500 W por tonelada de carne, considerando todas las ganancias de calor.

Para intensificar el proceso de enfriamiento de los productos cárnicos se debe:

- 1- Crear la circulación forzada del aire cerca del producto, manteniendo estable y uniforme el flujo para toda la superficie de la carne.
- 2- Disminuir la temperatura del aire en la cámara hasta $-5...-3$ °C en la primera etapa.

- 3- Utilizar el enfriamiento por etapas.
- 4- Utilizar el enfriamiento por radiación (baterías) como complemento.
- 5- Utilizar el enfriamiento programado. 6- Utilizar el pre enfriamiento de la carne antes de introducirlas en las cámaras frías en túneles con $t_c = -60$ °C.

1.9. Evaluación de los Sistemas de Refrigeración.

Los objetivos y aplicaciones de los sistemas de refrigeración son muy variados, abarcan desde la climatización de espacios a temperaturas desde 17°C a 24°C, hasta la producción de frío a bajas temperaturas para la conservación de alimentos en cámaras frías a menos de 30°C. Se llama refrigeración a las aplicaciones que trabajan a temperaturas mucho más bajas (10 hasta -30°C) o más bajas aún. Las instalaciones frigoríficas son altamente consumidores de energía, y en algunos casos representan los mayores consumos, tal como sucede en algunas industrias alimenticias, frigoríficos, fábricas de hielo, instalaciones turísticas y edificios comerciales.

Muchos autores dedican gran parte de su obra a analizar las posibles afectaciones que pueden tener las máquinas frigoríficas durante su explotación, ya sean derivadas del diseño, construcción o explotación.

Elementos que de forma general pueden incidir en un bajo rendimiento de los sistemas de refrigeración los cuales son:

- Pequeñas áreas de intercambio de calor, resultado de un incorrecto diseño.
- Baja velocidad del refrigerante secundario o del agente de enfriamiento en el condensador.
- Defectos de construcción relacionados con un deficiente contacto entre las aletas y los tubos.
- Llenado de refrigerante inadecuado ya sea por falta o por exceso.
- Elementos de regulación y control mal seleccionados o mal ajustados.
- Problemas relacionados con el mantenimiento; superficies de intercambio de calor sucias o incrustadas, juegos o desgastes excesivos en partes móviles, falta o exceso de aceite lubricante, etc.

- La incidencia de la baja cultura de explotación y la subutilización de la regulación automática de la capacidad de frío.

Por su propia naturaleza la temperatura del aire ambiente es uno de los factores que mayor influencia ejerce sobre el funcionamiento de estas instalaciones. Es muy importante una buena ubicación que favorezca la entrada de aire fresco. Los fabricantes, por lo general indican normas de instalación para lograr este objetivo.

Existen tres medidas para reducir el consumo y los costos energéticos en sistemas de refrigeración y se pueden agrupar en tres direcciones fundamentales:

- Reducir la carga térmica de refrigeración. Incrementar la eficiencia del sistema. Almacenamiento de frío.
- También plantea medidas para aumentar la eficiencia en los sistemas de refrigeración:
- Reducción de la presión (temperatura) de condensación. Operar con la mayor presión (temperatura) en la evaporadora admitida por el proceso o el producto a conservar. Operación económica de sistemas con múltiples compresores. Recuperación del calor de condensación

1.10. Ubicación de los evaporadores en las cámaras frías.

El funcionamiento efectivo del evaporador de refrigeración depende de la combinación del área del serpentín y el movimiento del aire. Por lo tanto, se debe dar una consideración de cuidado a la ubicación del evaporador, y el almacenamiento del producto refrigerado, además del equipo de refrigeración que se selecciona para la aplicación. Un entendimiento sólido del flujo de aire no controlado ayudara a asegurar que la aplicación del equipo de refrigeración reúna todas las necesidades del cliente. (Sierra, Refrigeración industrial. Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas, 2012)

El flujo del aire no controlado dentro de la cámara es único porque, aunque la velocidad del aire disminuye con la distancia, el flujo volumétrico se incrementa. Por ejemplo, el flujo volumétrico en el punto donde la velocidad ha disminuido hasta 50 PPM puede ser 10 veces mayor que el flujo volumétrico a la salida del evaporador. El movimiento del

aire dentro de un medio idéntico por sí mismo provoca fácilmente que el aire continúe o esté moviéndose. Este proceso es llamado arrastre, el cual provoca un vacío. Separaciones incorrectas.

Las obstrucciones del flujo del aire provocadas por las separaciones incorrectas en el lado del regreso al evaporador, son a veces pasadas por alto por el instalador, utilizando sistemas que no controlan o conducen correctamente el flujo de aire.

Las separaciones incorrectas resultan como un suministro pobre del aire de retorno. Las aspas son particularmente sensibles al impulsar contra las bajas presiones provocadas por el pobre suministro del aire de retorno. Adicionalmente, las distancias del tiro de aire son significativamente reducidas si el producto refrigerado obstaculiza la cantidad de aire de retorno. Para obtener un suministro adecuado de aire, las distancias o separaciones deben ser por lo menos igual a la altura del serpentín por el lado de retorno del aire.

Separación adecuada que debe mantenerse por todos los lados del evaporador para asegurar un funcionamiento máximo.

Un evaporador que tiene 50" de alto debe estar separado de la pared por lo menos 50". En un compartimiento angosto donde el evaporador ocupa toda la pared, los productos refrigerados no deben obstaculizar el ducto de retorno del aire que se forma por debajo del evaporador. En sistemas no controlados, la separación del retorno y suministro de las corrientes de aire son esenciales.

El aire no puede circular en direcciones opuestas a velocidad muy alta sin un ducto para que las corrientes sean separadas. Si no existe esta separación, el resultado natural es la turbulencia. Si no físicamente también existe una barrera entre las corrientes de aire de descarga y las de retorno, debe existir una zona neutral para incrementar la separación de las corrientes de aire y el tiro de aire del evaporador. Sin la zona neutral, el aire tiende a recircular sin ninguna dirección de la corriente cuando los productos obstruyen el lado de retorno del aire.

La distancia del tiro del aire de los evaporadores es medida en el punto donde la velocidad ha disminuido 50 PPM. La velocidad es llamada cero útiles porque el gradiente

normal del aire provocado por la estratificación del aire dentro de un cuarto desocupado normalmente se incrementa 50 PPM.

Los evaporadores pueden impulsar aire mucho más lejos del que estos pueden extraer de sí mismos. Así, un evaporador montado en el centro de un cuarto puede impulsar corrientes de aire de 50 hasta 60 pies, pero probablemente afecte las corrientes de aire no más de 3 a 4 pies.

El 65% de la carga térmica total puede ser involucrada en el proceso de congelación y todo el aire será requerido sobre el producto.

Se debe considerar el uso de los ventiladores auxiliares para ayudar a incrementar la velocidad sobre el producto en operaciones de congelación.

Los evaporadores típicamente no producen velocidades excedidas de 200 a 300 PPM cuando el aire alcanza el producto, y las velocidades en el rango de 1000 PPM son requeridas para reducir significativamente el tiempo de congelación. Desde que la velocidad del aire y la diferencia de temperatura incrementada entre los productos y el aire pueden acelerar el proceso de congelación, puede ser mucho menos caro incrementar la velocidad del aire sobre los productos refrigerados, que operar a temperaturas menores. En la congelación de productos o reducción de temperatura, es esencial que el aire sea impulsado a través y sobre los productos refrigerados. Justo hacia donde apunta el ventilador sobre los productos.

1.11. Comportamiento de la energía durante la explotación de las cámaras frías.

El aumento y perfeccionamiento del nivel de explotación de la instalación de refrigeración y del frigorífico en general representan grandes reservas de energía que se pueden obtener en cada una de esas instalaciones.

Como primer paso, es necesario como mínimo al final de cada trimestre determinar los valores reales del consumo específico de energía, lo que permite definir los sobre consumos que se relacionan con deficiencias en la explotación del sistema de producción de frío, siendo necesario además determinar los sobre consumos de energía eléctrica que

se producen, debido a un mal estado del aislamiento térmico de la construcción y ganancias de calor a través de puertas que permanecen abiertas más tiempo del debido o no tienen la suficiente hermeticidad y otras violaciones del régimen de explotación que se producen. Esto hace que se puedan establecer indicadores que relacionen el consumo de energía eléctrica no solo a la producción de frío, sino también a la cantidad de productos producidos en dependencia de su tipo y del tratamiento térmico recibido.

Para la determinación de los indicadores de consumo de energía eléctrica se deben tomar en cuenta estudios realizados por diferentes autores que establecen la influencia cualitativa que ejercen sobre el consumo específico diferentes factores de explotación que determinan el sobre consumo de energía, tales como:

- Factores que dependen del nivel y perfeccionamiento de la explotación (la explotación está relacionada con la producción y utilización del frío).
- Factores que dependen de las soluciones de proyecto (tipo de aislamiento, equipamiento utilizado, sistemas de enfriamiento, etc.).
- Siendo los factores que dependen del nivel y perfeccionamiento de la explotación los que mayores posibilidades de aplicación de medidas de ahorro de energía presentan por no requerir éstas de inversiones (Rodríguez Lozano, 2003) o requerir de inversiones pequeñas, es que se propone un estudio detallado de estos factores, los cuales se relacionan a continuación
- Presencia de aceite en la superficie de intercambio de calor de los equipos intercambiadores de calor, así como su acumulación en los mismos.
- Ineficiente utilización del área de transferencia de calor de los equipos intercambiadores de calor.
- Funcionamiento de los compresores en marcha húmeda o con un sobrecalentamiento alto del vapor en la succión.
- Variaciones incorrectas en el esquema de trabajo de la instalación en el proceso de explotación que comprenden:
- Conexión de cargas térmicas a sistemas de enfriamiento con temperaturas de ebullición más bajas que las requeridas.

- Aumento de la capacidad de la instalación, sin el correspondiente aumento del área de transferencia de calor de los intercambiadores y del diámetro de las tuberías.
- Estado deplorable del aislamiento térmico de las tuberías.
- Aumento de la temperatura de condensación, que puede ser provocado por la presencia de aire en el sistema, por disminución del caudal de la fuente caliente, por aumento de la temperatura del mismo y por la formación de incrustaciones en la superficie de los condensadores, entre otras.
- El aumento de temperatura de condensación, que es una de las causas más frecuentes, trae consigo que aumente el tiempo de trabajo del compresor debido a la disminución de la capacidad frigorífica del ciclo y que aumente el trabajo realizado por el compresor, por ello la potencia eléctrica consumida por el compresor aumenta por dos causas.

CAPÍTULO 2: Desarrollo y aplicación de metodología

2.1. Reseña histórica de la entidad.

El Frigorífico de Cárdenas, perteneciente a la UEB Pesca Caribe Varadero, tiene más de 40 años de explotación; primero bajo la dirección Industria Pesquera como centro de distribución a la población, organismos y el turismo hasta mediados de 1997. En ese año pasa a Pesca Caribe después de realizarle una reparación capital. Cuenta con una cámara de mantenimiento congelado a - 20 °C de 60t de capacidad para los pescados y mariscos, una de mantenimiento congelado a - 20⁰C de 20t para los productos PRODAL y una de 5t para productos frescos a una temperatura de entre 0 y 5⁰C.

Desde sus inicios asumió totalmente la actividad de comercialización de todos los productos pesqueros frescos, congelados y vivos al sector del turismo, primeramente de forma directa desde la industria pesquera situada en Cárdenas y posteriormente al pasar el frigorífico bajo administración de Pesca Caribe, incrementó la diversidad de productos a ofertar en su comercialización y con el mejoramiento de la calidad y surgimiento de nuevos productos de producción nacional se comenzó la comercialización de producciones nacionales con un elevado nivel de aceptación.

Con el transcurso de los años y el crecimiento de las capacidades del sector hotelero las ventas de la empresa han experimentado incrementos acelerados. A su vez se ha logrado insertar en el sector turístico el consumo de productos nacionales, contribuyendo al desarrollo no solo del sector sino a la sustitución de importaciones lo que ha propiciado el ahorro de divisas por este concepto y su utilización en el desarrollo no solo de la industria sino en otras esferas de la vida económica y social del país.

Todo esto ha contribuido a que Pesca Caribe Varadero se haya convertido en una empresa que hoy se encuentra bajo el sistema de perfeccionamiento empresarial y haya tenido de manera progresiva a través de los años un crecimiento productivo que la ha llevado a tener incrementos paulatinos en sus producciones tanto en físico como en valores superiores a los planes propuestos, originando ingresos anuales superiores a los 15 millones de pesos convertibles.

Actualmente la capacidad de almacenamiento en el frigorífico es de 70 t de productos y el nivel de ventas asciende a 60 t / semana, lo que significa que prácticamente el período de estancia de la mercancía en almacén es de solo una semana.

Este volumen de rotación y la capacidad del almacén generan un alto nivel de riesgo de que se produzca ruptura de stock ante determinados incrementos no previstos en la demanda de algunos productos, lo cual ha ocurrido en los últimos años.

2.2. Introducción.

En el presente capítulo se hace un análisis de las cargas térmicas de una cámara frigorífica del Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero El cálculo pretende determinar la potencia frigorífica necesaria para cubrir las necesidades de la instalación y, en consecuencia, realizar la elección de los equipos frigoríficos.

Las necesidades de la instalación, serán función de:

- Naturaleza y espesor del aislamiento.
- Temperatura máxima del aire ambiente.
- Temperatura media en el interior de la cámara frigorífica.
- Dimensiones exteriores de la cámara frigorífica.
- Régimen de trabajo.
- Tipo, cantidad y estado del producto a su entrada en la instalación.
- Temperatura del producto a su entrada en la cámara.
- Calor específico del producto.
- Renovaciones de aire precisas, tiempo de funcionamiento, etc.
- Calor de respiración del producto, presencia o entrada de personal en el recinto.
- Apertura de puertas, entrada de carretillas elevadoras, existencia de puentes térmicos, etc.

La cantidad total de calorías que deben extraerse a fin de mantener la temperatura deseada en la cámara, nevera o recipiente a enfriar, procede del total de calor que entra en el refrigerador por el conjunto de las tres causas siguientes:

- Pérdidas a través de las paredes.
- Pérdidas por servicio (uso de puerta, alumbrado, calor del personal, etc.)
- Pérdidas por la carga de género que entra a diario en el refrigerador.

2.3. Cálculo de la carga térmica de las cámaras frigoríficas.

2.3.1. Ganancia de calor a través de los elementos constructivos.

La ganancia de calor por este concepto se determina como la sumatoria de las ganancias a través de los distintos elementos constructivos (paredes, tabiques, cubiertas o techos y a través del piso), producidas por la existencia de diferencias de temperaturas entre los medios en cuestión y a causa de la acción de los rayos solares sobre la edificación. (BUQUÉ, 2006) (Delgado Linares, 2001)

La cantidad de calor que entra por pérdidas a través de las paredes depende de tres factores:

- Superficie total exterior de la cámara, nevera o recipiente.
- Aislamiento del mismo.
- Diferencia de temperatura entre la exterior, donde se halla instalada la cámara, y lo que debe obtenerse en su interior (ΔT).

Como es natural, cuando mayor sea la superficie total exterior, mayor será la cantidad de calor que deberá extraerse. Si el aislamiento es de mayor espesor, menores serán las pérdidas a través del mismo, y más calor deberá absorberse cuando mayor sea la diferencia de temperatura entre el exterior e interior de la cámara o nevera. (Cao, 1983)

$$Q_1 = FK_r \Delta T \quad (2.1)$$

Dónde: Q_1 → Ganancia de calor a través de los elementos constructivos, W.

F → Superficie del elemento constructivo, m².

K_r → Coeficiente de transmisión de calor a través de todo el elemento constructivo, W/ m²°C

$\Delta T \rightarrow$ Diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior de la cámara. ($^{\circ}\text{C}$)

Los coeficientes globales de transmisión de calor para un elemento constructivo dado dependen, entre otros aspectos, de la temperatura del aire en la zona donde se efectuará la construcción del frigorífico, así como de la temperatura en el interior de la cámara. En el anexo III aparecen los valores del coeficiente global de transferencia de calor para diferentes valores de temperaturas, atendiendo a la aplicación del recinto colindante,

El término ΔT si la pared está expuesta al sol tiene un incremento adicional dado por la radiación solar y se determina de la siguiente manera.

$$\Delta T_s = \frac{IPa}{\alpha_e}$$

Dónde:

I \rightarrow Intensidad media de radiación solar sobre la superficie, W/m^2 .

P \rightarrow Coeficiente que considera la inercia térmica de la estructura. Para los frigoríficos se asume un valor de 0,75 por su carácter de elemento constructivo multicapa de gran espesor y alta resistencia térmica.

a \rightarrow Coeficiente de absorción de la radiación solar por la superficie de la estructura.

.

Si el piso no tiene provisto elemento calefactor: $\Delta T = T_m - T_I$

Dónde: T_m y $T_I \rightarrow$ Temperatura media de la tierra bajo la cámara y temperatura en el interior de la cámara respectivamente, $^{\circ}\text{C}$

Si el piso tiene provisto elemento calefactor entonces la ganancia de calor a través del mismo se calcula de manera diferente, se divide el área en zonas separadas por dos metros entre la pared exterior y la interior. La cantidad de zonas depende del área de la cámara, a mayor área mayor número de zonas.

$$Q_p = \sum_{e=1}^n K_e F_e (T_e - T_I) m \quad (2.2)$$

Dónde:

Q_p → Es la ganancia de calor a través del piso

K_e → Coeficiente convencional de transmisión de calor correspondiente a cada zona del piso, $W/m^2 k$.

F_e → Área correspondiente a cada zona de piso, m^2

m → Coeficiente que considera en sí la variación relativa de la resistencia térmica del piso por la existencia del aislamiento térmico, para los pisos no aislados $m=1$.

El coeficiente m se calcula empleando la siguiente fórmula:

$$m = \frac{1}{1 + 1,25 \left(\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \right)}$$

Dónde:

δ → espesor de las distintas capas de piso, m .

λ → coeficiente de conductividad térmica de los materiales empleados en el piso, $W/m^2 k$.

2.3.2. Ganancia de calor de los productos durante su tratamiento térmico.

Las necesidades frigoríficas por enfriamiento del producto son las mayores de todas las que intervienen dentro de la suma total de necesidades o pérdidas de la instalación frigorífica, en el caso de las cámaras de congelación donde el producto no entra pre enfriado. Con menor diferencia también suelen ser las mayores en el caso de cámaras de refrigeración.

En el cálculo de estas pérdidas, se tendrán en cuenta algunos aspectos técnicos, que deberán ser fijados por el proyectista en función del producto o técnica a utilizar (refrigeración o congelación), entre los que destacan:

Plazo en que debe ser enfriado el producto: se va a considerar que el producto alcanza la temperatura deseada en un día.

Masa de producto a enfriar.

Necesidad o no de congelación del producto.

Teniendo en cuenta los aspectos citados, el cálculo de las pérdidas por enfriamiento y/o congelación, Q_2 se obtiene mediante la siguiente expresión:

a) Ganancia de calor de los productos durante su tratamiento térmico

$$Q_2 = \frac{M \Delta i}{3,6 \tau} \quad (2.3)$$

Q_2 → Ganancia de calor de los productos durante su tratamiento térmico, W.

M → Entrada diaria de productos a la cámara, kg.

Δi → Diferencia de entalpías correspondientes a las temperaturas inicial y final del producto, J/kg.

τ → Tiempo de duración del tratamiento térmico, segundos

La entrada diaria de productos a un frigorífico de distribución se asume para cámaras con una capacidad superior a las 200 toneladas hasta un 6 % de la capacidad de la cámara y un 8 % para aquellas con menor capacidad que 200 toneladas. En los frigoríficos de conservación de frutas, la entrada diaria se considera hasta un 10 % de la capacidad de la cámara.

Cuando se trata de la conservación a baja temperatura de productos congelados, no es necesario prever pérdidas de carga por congelación, bastando únicamente tener en cuenta pérdidas que correspondan a toda posible recuperación del género por no entrar este a la temperatura existente en la cámara.

b) Ganancia por el embalaje del producto.

$$Q_2 = \frac{M_e C_e \Delta T_e}{3,6 \tau} \quad (2.4)$$

M_e → Entrada diaria de embalaje, kg.

C_e → Capacidad calorífica del material del embalaje, J/kg.^{0C},

ΔT_e → Diferencia de temperaturas del embalaje a la entrada y la salida del producto, ^{0C}.

La masa del embalaje se considera aproximadamente entre el 10 y el 30 % de la masa del producto, para el caso del embalaje de cristal este se considera el 100 % de la masa del

producto. La masa de las cajas de madera para vegetales y frutas se asume en un 20 % de la masa de las frutas y vegetales.

2.3.3. Ganancia de calor del pescado.

Debe recordarse que la carne del pescado, está sujeta a cambios durante su almacenamiento. Estos cambios son debidos a la respiración, o proceso en que el oxígeno del aire se combina con el carbono de los tejidos. Durante dicho proceso se desprende energía en forma de calor, que también forma parte de las pérdidas calculadas por la carga de género y debe tenerse necesariamente en cuenta para el cálculo total. El calor que debe extraerse para reducir la temperatura de un producto desde T_0 a T es.

$$Q_3 = mc_p \Delta T \quad (2.5)$$

Dónde:

Q_3 → Ganancia de calor de la carne de pescado, W

ΔT → Temperatura de la carne de pescado

m → Capacidad de la cámara, kg

C_p → Calor específico de la carne de pescado (0,8 J/kg °C)

2.3.4. Ganancia de calor por la ventilación de la cámara frigorífica.

La ganancia de calor de aire exterior durante la ventilación de la cámara, para disminuir al mínimo los olores, se debe tener en cuenta solo al proyectar frigoríficos o cámaras para la conservación.

A fin de evitar la formación de gases durante el periodo de vida propio del producto debe dotarse a las cámaras de una renovación de aire adecuada, que normalmente, y para instalaciones de regular capacidad, se calcula a un promedio de cuatro renovaciones totales del volumen de aire de la cámara por día.

$$Q_4 = M_a \Delta i \quad (2.6)$$

Q_4 → Ganancia de calor de aire exterior durante la ventilación de la cámara, W.

M_a → Flujo de aire de ventilación. (kg/s)

Δi → Diferencia de entalpías específicas del aire exterior e interior. (j/kg)

El flujo de aire de ventilación se determina a partir de la necesidad de garantizar una frecuencia de la renovación de aire de hasta 3 volúmenes diarios:

$$M_a = Va\rho_a \quad (2.7)$$

M_a → Flujo de aire, kg/día.

V → Volumen de la cámara, m³

a → Frecuencia de la renovación del aire, renovaciones/día.

ρ_a → Densidad del aire a la temperatura y humedad relativa de la cámara, kg/m³.

2.3.5. Ganancia de calor durante la explotación.

Esta ganancia es el resultado de la iluminación en las cámaras, presencia de personas, trabajo de los motores eléctricos, aperturas de las puertas. Es por ello que el cálculo se efectúa por separado para cada concepto.

$$Q_5 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \quad (2.8)$$

$$q_1 = A F \quad (2.9)$$

q_1 → Ganancia de calor por la iluminación.

Ae → cantidad de calor emitida por la iluminación en la unidad de tiempo sobre 1m² de la superficie, W/m². Para cámaras de conservación es 1,2 W/m² y para cámaras de elaboración térmica se toma 4,5 W/m²

$$q_2 = 350 n_p \quad (2.10)$$

q_2 → Ganancia de calor por la presencia de personas

350 → Emisión de calor de una persona al efectuar trabajos físicos pesados. (w)

n_p → Cantidad de personas.

La cantidad de personas que laboran en una cámara se asume en dependencia de la superficie de esta. Para cámaras de hasta 200m² se asumen de a2 ó 3 personas y mayores de 200m² se asumen de a3 ó 4 personas.

Para motores dentro de la cámara.

$$q_3 = N_m \quad (2.11)$$

q_3 → Ganancia de calor por el trabajo de los motores eléctricos

N_m → Potencia de los motores, W.

Para la realización de los cálculos primarios la potencia de los motores instalados puede ser asumida en dependencia de la finalidad de la misma:

<i>Para cámaras de:</i>	<i>Se asume una potencia de (kW)</i>
<i>conservación de productos frescos</i>	<i>1-4</i>
<i>Enfriamiento</i>	<i>3-8</i>
<i>Congelación</i>	<i>8-16</i>

Para motores fuera de la cámara

$$q_3 = N_m \eta_m \quad (2.12)$$

η_m → Eficiencia del motor.

2.3.6. Ganancia de calor por la apertura de puertas.

El tiempo de abertura de la puerta según avanza el tiempo trae como consecuencia que la unidad refrigerante trabaje mucho más; o sea que la máquina arranque en un período más corto de tiempo para volver a alcanzar las condiciones de temperatura requerida, pues existen pérdidas que se generan por la mala manipulación del personal encargado, lo que trae como consecuencia que exista un mayor consumo energético y una sobreexplotación

del equipo. Es recomendable que se apague la unidad refrigerante cuando se van a hacer grandes movimientos; ya que mientras esté abierta la puerta se están perdiendo grados de temperatura y el trabajo de la unidad permanece prácticamente en un ciclo continuo por generar esto pérdidas energéticas para la instalación (Malgarejo, 1995)

$$q_4 = B F \quad (2.13)$$

B→ Ganancia de calor específica por la apertura de puertas, W/m².

F→ Área de la cámara.

2.3.7. Determinación de la carga sobre el equipamiento de enfriamiento y el compresor.

La carga térmica que actúa sobre los equipos de enfriamiento en las cámaras se determina como la sumatoria de las ganancias de calor por los distintos conceptos ΣQ de la cámara en cuestión. Deben tomarse el 100% de las ganancias de calor por los distintos conceptos, ya que el equipamiento en las cámaras debe garantizar la extracción de calor en las condiciones probables más desfavorables. (Herrera & Blanco, 1985)

Los compresores se seleccionan para grupos de cámaras de igual temperatura, esto no significa que no se puedan seleccionar para cámaras de distintas temperaturas un mismo compresor, pero esta variante introduce la necesidad de emplear soluciones menos eficientes termodinámicamente, lo que requiere una fundamentación económica adecuada.

La carga térmica sobre el compresor se comprende de las ganancias de calor por los conceptos antes vistos, pero no resulta necesario considerarlo en su totalidad, y esto depende del tipo y destinación del frigorífico en cuestión.

La ganancia de calor a través de los elementos constructivos Q_1 debe considerarse en su totalidad para los frigoríficos de distribución y los de origen vegetal. Para los frigoríficos de los combinados cárnicos y pesqueros se recomienda tomar de Q_1 el 80% para las cámaras de productos congelados y el 60% para las que requieran temperaturas iguales o

superiores a 0°C. Algunos especialistas consideran independientemente de la temperatura requerida tomar de los valores máximos de Q1 el 85-90% para los frigoríficos de una sola planta y del 75% para los de varios pisos.

En cuanto a las ganancias por el tratamiento térmico de los productos, Q2 se asume para los frigoríficos de distribución en por ciento del valor máximo como sigue:

- cámaras de enfriamiento y distribución 100
- cámaras de conservación de productos frescos 50
- cámaras de conservación de productos congelados 50-60

En los frigoríficos de los combinados cárnicos y pesqueros la carga sobre el compresor a partir de Q2 se asume en su totalidad (100%).

En los frigoríficos para frutas debe tenerse en cuenta que la carga durante el periodo de cosecha es muy superior que si se trata de una conservación prolongada. Prácticamente durante una conservación prolongada Q2=0.

La ganancia de calor por la ventilación Q3 y producto de la respiración de las frutas Q5, características de los frigoríficos de frutas, se toma en su totalidad.

La ganancia de calor por la operación Q4 se asume para todos los casos entre 50 y el 75% de los valores máximos.

A la hora de determinar la capacidad del compresor deben ser considerados el tiempo de trabajo del equipamiento y las ganancias térmicas en los aparatos y tuberías de la instalación frigorífica, provocados por la diferencia de temperaturas entre el aire circundante y el refrigerante. La capacidad requerida de los compresores para cada temperatura de ebullición por separado se determina por la fórmula:

$$Q_o = \frac{K \sum Q_c}{b} \quad (2.14)$$

$K \rightarrow$ Coeficiente que considera en sí todas las pérdidas de calor en tuberías y aparatos de la instalación frigorífica.

$\Sigma Q_c \rightarrow$ Sumatoria de las cargas térmicas que actúan sobre el compresor para la temperatura de ebullición dada, W.

$b \rightarrow$ Coeficiente del tiempo de trabajo del equipo.

T_o °C	40	30	10
K	1,1	1,07	1,05

Los coeficientes K se toman en dependencia de la temperatura de ebullición. Para las instalaciones donde la ebullición del refrigerante se efectúa directamente en el evaporador.

Si los vapores del refrigerante se succionan a través de los recibidores o separadores de líquido, estos valores de K se disminuyen en un 40%. Para los sistemas que emplean el enfriamiento a través de los agentes intermedios (salmuera) $K=1,12$.

El coeficiente b debe tomarse igual a 0,92 como máximo para las instalaciones grandes, considerando que los compresores funcionan aproximadamente 22 h al día. Cuando sea necesario considerar menos tiempo de trabajo el valor mínimo de b es 0,67.

De acuerdo con el dato final obtenido en el cálculo de pérdidas, es cuando debe escogerse el modelo de compresor y evaporador de la capacidad correspondiente para obtener el rendimiento frigorífico necesario.

Entran dos factores en la selección del equipo compresor: la presión de aspiración a que debe trabajar de acuerdo con la temperatura a obtener en la cámara, y la temperatura del medio enfriador en el condensador, es decir la del ambiente que rodea al condensador en los tipos de aire, o bien a la entrada del agua si se trata de un equipo enfriado por agua.

Conocida la temperatura a mantener dentro del refrigerador o cámara, teniendo en cuenta la diferencia que debe existir entre aquella y la de evaporación del refrigerante, de acuerdo con el sistema de evaporador a emplear, se obtendrá la presión de aspiración a la que deberá trabajar el sistema, buscando la relación debida en la tabla.

Como información de tipo general se detalla en la tabla siguiente la relación de diversas presiones de aspiración y temperaturas de ebullición del refrigerante a que debe trabajar normalmente el compresor de acuerdo con el tipo de instalación que se trate.

Tabla 2.1: Presiones de aspiración y temperaturas de ebullición del refrigerante a que debe trabajar normalmente el compresor de acuerdo con el tipo de instalación.

	Temperatura media del refrigerante	R-22	R-502
Acondicionamiento de aire por expansión directa	+3°C	30kg	35.4 kg
Enfriamiento de agua y líquidos	-3°C	23kg	27.7kg
Unidades de deshielo automático	-6°C	20kg	24.5kg
Cámaras de servicio +2 a -2°C	-10°C	16.8kg	20.4kg
Serpentines para hacer cubitos de hielo	-12°C	15 kg	19.1 kg
Congeladoras de hielo en salmuera	-18°C	10.7kg	14.3kg
Almacenaje de helados y artículos congelados	-22°C	8.2 kg	11.6kg
Congelación y endurecimiento de helados	-28°C	5 kg	8.2 kg
Congelación rápida	-40°C	0.45 kg	2.3 kg

Fuente: (Monteagudo García, Quintero Cabrera, Melgarés Hernández, Peña Rojas, Mendoza Miranda, & Mateo Largo, 1986)

La presión de descarga o temperatura de condensación tiene un efecto semejante en la capacidad de la máquina, y está determinada, naturalmente, por la superficie del condensador y por la temperatura del agente de enfriamiento que actúa sobre el mismo.

Conocidos ya estos datos (presión de aspiración y temperatura del agente enfriador en el condensador), bastara buscar el equipo compresor que bajo dicho régimen de trabajo dé el número de frigorías previamente determinado y este será el óptimo para cumplir con los requerimientos de la cámara seleccionada en el Frigorífico de Cárdenas, UEB Pesca Caribe Varadero.

Los evaporadores se seleccionan de acuerdo al tipo que se necesite atendiendo al número de frigorías que se precisan.

CONCLUSIONES

Apoyado en el desarrollo del presente trabajo, se puede arribar a las siguientes conclusiones:

Se utilizan las fuentes científicas adecuadas y suficientes para garantizar un estudio del arte que permite dar cumplimiento al objetivo trazado donde se analiza fundamentalmente las características y las normas establecidas para el diseño de las cámaras frías, así como las tendencias para la construcción de pisos, cubiertas, techo y cerramientos. De igual manera se hace referencia al comportamiento del panel de sándwich como aislante térmico y su eficiencia desde el punto de vista económica de la inversión y de la explotación de la cámara fría.

Constituye una herramienta para la empresa con valor científico y metodológico en cuanto se ofrece la metodología para el balance térmico de cámaras frías teniendo en cuenta la ganancia de calor de fuentes internas y externas que permiten posteriormente la selección de los principales componentes del sistema de refrigeración que se determine emplear.

El desarrollo del tercer capítulo de este trabajo resultó imposible de desarrollar debido a las complicaciones causadas por el COVID 19 que imposibilitó la obtención de datos como las dimensiones reales de la cámara, las mediciones de las temperaturas al interior y el exterior de dicha cámara, los volúmenes reales de productos almacenados, entre otros, imprescindibles para llevar a cabo los cálculos y análisis correspondientes.

RECOMENDACIONES.

Con los resultados obtenidos en este trabajo se proponen las siguientes recomendaciones:

Utilizar los paneles sándwich debido a su facilidad de instalación y comportamiento desde el punto de vista energético y las facilidades para el montaje y mantenimiento.

Cumplir con las normas establecidas para el diseño de las cámaras frías y la selección de los componentes principales del sistema de refrigeración, así como el refrigerante a emplear

Bibliografía

autores, Á. G. (2008). *Temas avanzados de refrigeración y acondicionamiento de aire*. Cienfuegos: editorial universo sur.

BUQUÉ, F. (2006). *Manuales prácticos de refrigeración. Tomo I*. Barcelona: Editorial Marcombo.

Cao, E. (1983). *Intercambiadores de Calor*. Fac. de Ingeniería (UBA).

Delgado Linares, G. (2001). *Intercambiadores de calor*. Mérida: Universidad de los Andes.

Gregorig, R. (1979). *Cambiadores de calor*. España: Ediciones URMO S.A.

Herrera, O., & Blanco, A. (1985). *Equipos de Transferencia de calor*. La Habana: Ministerio de Educación Superior.

Kerkn, D. (1998). *Procesos de Transferencia de Calor*. México. : Editorial CONTINENTAL S.A.

Koshade, R. (2010). *Métodos Constructivos con Paneles Sandwich*.

Malgarejo, P. (1995). *Aislamiento, cálculo y construcción de cámaras frigoríficas*. Madrid.

Martínez, A. S. (2003). *Enfriadores de aire*.

Santamaría Martínez, A. (2003). *Enfriadores de aire*.

Sierra, C. G. (2012). *Refrigeración industrial. Montaje y mantenimiento de instalaciones frigoríficas*. Madrid: Ediciones Ceysa.

Anexos

Anexo 1: Valor del coeficiente real de trasmisión de calor

Componentes básicos

Espuma rígida de poliuretano obtenida por reacción química entre:

- Polioli
- Isocianato
- Agente espumante HFC-134a
- Catalizadores

Características específicas

- Aislante de células cerradas.
- Densidad media 40 Kg/m³ (tolerancia + 3 Kg/m³- 0).
- Conductividad térmica ($\lambda = 0,023 \text{ W/m}^\circ\text{C}$).
Corresponde al GRUPO "A" según la Norma UNE 41-950.
- Coeficiente de transmisión térmica media "K" en función del espesor de los paneles.

ESPESOR en mm	60	75	100	120	150
K (W/m ² °C)	0,38	0,31	0,23	0,19	0,15

Anexo 2: Calor latente de fusión

DATOS TÉRMICOS DE VARIOS ALIMENTOS

Alimento	Ref.	% agua	Temp. Inicio Cong. T,(°C)	Calor Latente de fusión (KJ/Kg)	Calor específico (KJ/Kg°C)	
					Debajo punto de congelación	Encima punto de congelación
Atún	1	70			1.720	3.180
Bacalao	1	70	-2.2	277	1.720	3.180
Tocino fresco	1	57				2.010
Carne de cerdo fresca	1	60-75	-2.0	201	1.6	2.85
Carne de res fresca, grasa	1		-2.2	184	1.470	2.510
Salchicha frankfurt	1	60	-1.7	200	2.35	3.73
Pollo fresco	1	74	-2.8	247	1.55	3.31
Aguacate	1	94	-2.7	316	2.05	3.81
Limón	1	89.3	-2.2	295	1.93	3.85
Manzana	1	84	-2.0	281	1.85	3.6
Salsa de Manzana	2	82.8	-1.67			

Anexo 3: Coeficiente convectivo de transferencia de calor

Coeficientes convectivos de transferencias de calor durante la congelación

Condición	Coeficiente de transferencia de calor (W/m ² K)
Circulación natural	5
Chorro de aire	22
Congelación por contacto de placas	56
Circulación lenta en salmuera	56
Circulación rápida en salmuera	85
Nitrógeno líquido	
Lado lento placas horizontales donde se expande el gas	170
Parte superior de las placas horizontales	425
Ebullición del líquido	568

Heldman y Singh, 1981

Table 13 Surface Heat Transfer Coefficients for Food Products

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Product	Shape Length, mm ^a	Transfer Medium	Δt and/or Temp. t of Medium, °C	Velocity of Medium, m/s	Reynolds Number Range ^b	h , W/(m ² ·K)	Nu-Re-Pr Correlation ^c	Reference	Comments	
Apple Jonathan	52	Air	$t = 27$	0.0	N/A	11.1	N/A	Kopelman et al. (1966)	N/A indicates that data were not reported in original article	
				0.39		17.0				
				0.91		27.3				
				2.0		45.3				
				5.1		53.4				
	58				0.0		11.2			
					0.39		17.0			
					0.91		27.8			
					2.0		44.8			
					5.1		54.5			
	62				0.0		11.4			
					0.39		15.9			
					0.91		26.1			
					2.0		39.2			
					5.1		50.5			
Apple Red Delicious	63	Air	$\Delta t = 22.8$ $t = -0.6$	1.5	N/A	27.3	N/A	Nicholas et al. (1964)	Thermocouples at center of fruit.	
				4.6		56.8				
				1.5		14.2				
	72				4.6		36.9			
					0.0		10.2			
					1.5		22.7			
	76				3.0		32.9			
					4.6		34.6			
					0.27		90.9			
					3.0		32.9			
57	Water	$\Delta t = 25.6$ $t = 0$		0.27		90.9				
				70		79.5				
				75		55.7				
Beef carcass	64.5 kg* 85 kg*	Air	$t = -19.5$	1.8	N/A	21.8	N/A	Fedorov et al. (1972)	*For size indication.	
				0.3		10.0				