

Cálculo y Dimensionamiento de una Instalación Frigorífica para Conservación de Papaya para Exportación

Jácome Sánchez Manuel Israel
Msc. Vargas Zúñiga Ángel
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
mijacome@espol.edu.ec

Resumen

El propósito de este estudio es el de calcular y dimensionar una Instalación Frigorífica para conservación de la papaya destinada a su exportación. La variedad de papaya que más se exporta desde el Ecuador es la variedad Sunrise Solo y por lo cual es incluida en nuestro proyecto.

En este estudio se determinará el número de cámaras frigoríficas de conservación y sus respectivas dimensiones, así como sus principales características. Una vez determinado, se procederá a seleccionar el sistema de refrigeración, el ciclo de refrigeración y el refrigerante a utilizar. Posteriormente se calcularán los componentes principales de la Instalación Frigorífica, los cuales son: los compresores, condensadores y evaporadores. Luego se seleccionarán los dispositivos de control automático, así como sus dispositivos anexos, que son indispensables para el adecuado funcionamiento de toda la Instalación Frigorífica. Con la implementación de este proyecto se lograría contar con una cámara frigorífica que tenga la capacidad necesaria para suplir las necesidades de preenfriamiento de la fruta de exportación.

Palabras Claves: *Papaya Sunrise Solo, pallets, equipos frigoríficos, dispositivos de control automático.*

Abstract

The aim of this study is to calculate the capacity of a reefer system for preservation of papaya for export. The variety of papaya most exported from Ecuador is the Sunrise Solo variety and for this reason is included in our project.

This study will determine the number of refrigerated storage and their dimensions, and their main characteristics. Once these, we will select the refrigeration system, the refrigeration cycle and refrigerant used. Subsequently calculated the principal components of the refrigeration system, which are: compressors, condensers and evaporators. Then select automatic control devices and their attached devices that are indispensable for the proper functioning of the entire refrigeration system. With the implementation of this project would be achieved having a cold that has the capacity to meet the needs of precooling fruit export.

Keywords: *Pawpaw Sunrise Solo, pallets, condensing units, automatic control dispositive.*

1. Introducción

Ecuador es un país agrícola que posee climas variados por su situación geográfica, lo cual le permite obtener diferentes tipos de productos para consumo local así como para exportación. Para el caso del Ecuador, el precio del petróleo no tiene nada que ver con los productos no tradicionales.

En Ecuador se exportan alrededor de 69 tipos de frutas, entre las que podemos mencionar además del banano: mango, piña, maracuyá, papaya, melón, guayaba, limón, frutillas, entre otras cuya exportación apenas alcanza unas cuantas toneladas al año.

Actualmente se encuentra en constante explotación aquellos frutos dulces que pueden ser transportados a diferentes partes del mundo manteniendo su gran

sabor. Entre estos productos podemos mencionar el crecimiento en la exportación de la Papaya Sunrise Solo, que es el producto con el cual Ecuador se está introduciendo en grandes e importantes mercados, además de competir con países que tienen una mayor producción de la misma.

Para el Ecuador el ingreso de los productos no tradicionales a diversos mercados, como lo es la papaya ha significado un crecimiento de saldos netos positivos de la balanza comercial agropecuaria, lo cual está representando la importancia de la exportación de ésta fruta.

Además del poder transportar las frutas a los puertos, es necesario considerar un proceso de gran importancia para que las papayas puedan llegar a su destino en estado óptimo, como es refrigerar el

producto antes de poder ser embalado en los containers, para lo cual se ha realizado este “PROYECTO DE INSTALACIÓN FRIGORÍCA”.

En la presente tesis se detalla el procedimiento de cálculo de una cámara frigorífica para almacenar papaya Sunrise Solo, la cual es la fruta que se exporta y por lo tanto la de mayor importancia, justificándose de esta manera la realización del proyecto.

2. Factibilidad del proyecto

En el Ecuador la papaya es un producto que tiene gran tradición, aunque su cultivo a gran escala para que se pueda realizar la exportación no ha alcanzado un nivel óptimo. La papaya de variedad criolla tiene una amplia tradición de cultivo en pequeños productores, actualmente la papaya hawaiana solo sunrise, es la principal variedad que se destina para la exportación.

La temporada de cultivo de la papaya se da por ciclos, el inicio de la cosecha ocurre en el segundo año. A partir de entonces, la temporada de cosecha de esta fruta es a lo largo de todo el año. La vida económica del cultivo es de tres años incluyendo el año de desarrollo.

La exportación de productos no tradicionales ha ido en aumento en los últimos 5 años, en parte ha sido gracias porque se han dado las facilidades necesarias al momento de realizar préstamos e inversiones en el sector agrario de manera que se han incrementado los volúmenes de venta.



Figura 1. Exportación De Papaya (Volumen) Período 2002-2011

Fuente: Banco Central Del Ecuador

Para que se pueda preparar la fruta para la exportación es necesario realizar un proceso en el cual se verifique la calidad de la papaya, además de que se encuentre en condiciones óptimas para su viaje, debido a que debe encontrarse muy limpia para con esto constatar que no ha sufrido golpes o diferentes efectos durante el proceso de recolección de la misma.

Generalmente se cosecha poco antes que alcance plena maduración. En el comercio internacional la demanda de papayas se concentra preferentemente en la fruta con un peso de 200-600gr. La fruta destinada a la exportación se recomienda cosechar cuando la fruta

empieza a cambiar de color verde a amarillo en la parte de la inflorescencia.

Después de la cosecha la fruta se someterá a baño de agua caliente durante un período que se determinará en función de la variedad y de su sensibilidad al calor. Las papayas se someterán a baños de agua con una temperatura de 49°C durante 20 minutos, o a baños con temperatura de 42°C durante 30 minutos.

También se pueden someter a baño de vapor de 60°C durante aproximadamente 30 segundos. Después del baño la fruta será enfriada hasta alcanzar la temperatura ambiental del almacén. Luego se secará, seleccionará, clasificará, empacará y almacenará debidamente refrigerada hasta el momento de su transporte.

3. Dimensiones de cámara frigorífica y carga de refrigeración

3.1 Dimensionamiento cámara frigorífica.

Para el diseño de una cámara frigorífica o de refrigeración los criterios de diseño que se han de considerar serán los siguientes:

- Capacidad de almacenamiento.
- Espacios para operaciones internas; lo cual está ligado con la forma en como se manipula la carga (montacargas, carretillas hidráulicas, etc.)
- Espaciamentos de la mercancía.
- Capacidad de producción y las fechas de cosecha; lo cual nos indicará cuando será necesaria una ampliación de la cámara.

El tipo de pallets que se va a utilizar es el pallet británico, cuyas dimensiones son: 1200mm x 1000mm; los volúmenes que pueden soportar este tipo de pallets son 2.28m³.

La longitud de la cámara estará restringida al alcance máximo del tiro forzado de los ventiladores del evaporador, generalmente de 15m o más (tomando en consideración que el evaporador de perfil medio BM de la Heatcraft tiene tiro de aire hasta de 20 metros). El ancho necesario para almacenar los 146 pallets y teniendo en cuenta los espacios para que pueda transitar el montacargas es de 15 metros.

Con lo cual nuestra cámara frigorífica tendrá las siguientes dimensiones: 20 metros de largo, 15 metros de ancho y 3.5 metros de altura.

3.2 Carga de refrigeración.

Al momento de seleccionar un aislante térmico las propiedades o características que se consideran para seleccionar el más conveniente son:

- La conductividad térmica.
- La densidad.

- La resistencia mecánica.
- La permeabilidad a los gases y vapores.
- La absorción de humedad.
- La resistencia a temperaturas elevadas.
- La resistencia al fuego.

Al seleccionar el aislamiento debemos tomar en cuenta que no se produzca la autoignición, la cual puede tener lugar cuando fluye un combustible que tiene como material aislante un material fibroso. Todos los materiales no se comportan de igual manera en condiciones reales de fuego.

Tabla 1. Materiales a usarse en la cámara

MATERIAL	ESPESOR (mm)	CONDUCT. (Wm/m ² K°)	CONDUCT. (Kcal/m ² h°C)
Poliuretano inyectado	ex	0.0268	0.02305
Lámina de aluminio	0.5	0.0433	0.03725
Plancha de acero galvanizado	1.5	45.357	39

El coeficiente K puede ser calculado mediante la ecuación:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_s} + \sum \frac{e_x}{k}}$$

Despejando la incógnita e_x se obtiene:

$$e_x = 0.065 \text{ m}$$

$$e_x = 65 \text{ mm}$$

Con el resultado obtenido podemos concluir que se debe seleccionar un aislamiento que tenga como mínimo 65 mm de espesor. El espesor total de la pared deberá ser de:

$$E.T.P. = 65 + 0.5 + 0.5$$

$$E.T.P. = 66 \text{ mm}$$

Debido a que en el mercado el espesor de las planchas está determinado en pulgadas y la medida a la que más se acerca el espesor total de la pared será la plancha con dimensión inmediatamente superior, que es la de 76.2 mm (3 pulgadas), por lo cual se puede decir que la cámara va a trabajar con 76.2 mm de poliuretano inyectado y planchas de aluminio como barrera antivapor.

Para poder determinar la cantidad de calor que es necesario remover de un producto que es colocado en una cámara de refrigeración a mayor temperatura que la de almacenamiento, se debe conocer totalmente el estado del producto desde que ingresa hasta su estado final, su peso, su calor específico sobre y bajo la temperatura de congelación, la temperatura de congelación y su calor latente.

Los aportes caloríficos internos por los distintos elementos son:

$$\text{Producto: } 0.91 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C} \times 60000 \text{ Kg} \times 24^\circ\text{C}$$

$$= 13104000 \text{ Kcal (24 horas)}$$

$$\text{Embalaje: } 14635 \times 0.32012 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C} \times 1.055 \text{ Kg} \times 24^\circ\text{C}$$

$$= 118623.1 \text{ Kcal (24 horas)}$$

$$\text{Pallets: } 146 \times 0.67010 \text{ Kcal/Kg.}^\circ\text{C} \times 30 \text{ Kg} \times 24^\circ\text{C}$$

$$= 70440.91 \text{ Kcal (24 horas)}$$

Los aportes caloríficos externos son los siguientes:

$$Q = 11875.15 \text{ Kcal (24 horas)}$$

$$Q = 0.10 \times (23133.93 + 664653.2 + 593.76) \text{ Kcal/h}$$

$$= 68838.09 \text{ Kcal/h}$$

Los aportes caloríficos totales son:

$$Q_T = (688380.9 + 68838.09) \text{ Kcal/h} = 757218.99 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_T = 880.48 \text{ KW}$$

$$Q_T = 3004322.47 \text{ BTU/h}$$

4. Selección del sistema de refrigeración, del ciclo de refrigeración y el refrigerante.

4.1 Selección del refrigerante.

Los refrigerantes son los fluidos vitales en cualquier sistema de refrigeración mecánica. Cualquier sustancia que cambie de líquido a vapor y viceversa, puede funcionar como refrigerante, y dependiendo del rango de presiones y temperaturas a que haga estos cambios, va a tener una aplicación útil comercialmente.

R 134a.- Es una alternativa al refrigerante R 12. Pertenece al grupo de los HCF, al no tener cloro no es miscible con los aceites minerales, pero si es compatible con aceites sintéticos como el poliéster.

Se evapora a -26.4°C a presión atmosférica, pero se prevé su utilización en instalaciones frigoríficas que no tengan una temperatura inferior a -15°C ya que se ha comprobado que a partir de esa temperatura disminuye su eficiencia termodinámica en relación al R-12.

Se procederá a evaluar las propiedades de los refrigerantes que para efectos de selección se considerará tres características fundamentales, además de aquellas que ya fueron mencionadas, siendo estas:

- Presión de vapor.
- Temperatura y presión crítica.

Para tener una mejor apreciación se elaboró una matriz de decisión para así poder seleccionar el refrigerante, entre los candidatos tenemos: R 134a, R 600A y amoníaco (NH₃).

Se preseleccionaron estos refrigerantes debido a que contemplan las propiedades termodinámicas, físicas, químicas, medioambientales y de aplicación (refrigeración comercial).

Tabla 2. Matriz de selección del refrigerante evaluando cada parámetro sobre 10 puntos

	R 134a	R 600A	NH ₃
Punto de ebullición (P.E.)	8	4	10
Temperatura crítica	8	-	10
Presión crítica	4	3	10
Masa molecular	10	6	2
Acción sobre productos perecederos	7	8	0
Impacto ambiental	8	7	5
Precio	8	9	10
Total	53	37	47

Mediante la matriz se pudo apreciar que el puntaje más alto fue obtenido por el refrigerante ecológico R 134a, de manera que cuando se haga referencia al refrigerante se mencionarán las propiedades de este fluido frigorífico.

4.2 Selección del sistema de refrigeración.

El sistema de refrigeración a utilizar será del de refrigeración directa o de expansión directa, debido a que la temperatura de operación de la cámara es de +10°C por lo que la diferencia de temperatura no es muy elevado y consecuentemente la razón de compresión no lo será; además de esto los costos de instalación serán más económicos y sencillos que el de un sistema de refrigeración indirecta.

Calor generado por el condensador:

$$Q_{rechazado} = 3718463.21 \text{ KJ/h}$$

$$Q_{rechazado} = 888139.68 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{rechazado} = 3524422.46 \text{ BTU/h}$$

$$Q_{rechazado} = 1032.91 \text{ KW}$$

5. Cálculo y determinación de los componentes de la Instalación Frigorífica.

5.1 Clasificación de compresores.

La clasificación de los compresores está definida en dos grandes grupos:

- Volumétricos, y
- No volumétricos.

Los compresores no volumétricos se encuentran a su vez divididos en: radiales y axiales.

Los compresores pertenecientes al grupo de los volumétricos se dividen a su vez en: a pistón alternativo y rotativo. Estos últimos se subdividen en: a un rotor y a dos rotores.

El grupo de compresores perteneciente al grupo de los rotativos a un rotor está formado por: espiral, a pistón rotativo y a paletas múltiples. Mientras que en el grupo de dos rotores se encuentran a lóbulos y a tornillo.

Compresores volumétricos: son aquellos en los que la transferencia de fluido es asegurada por capacidades que son puestas sucesivamente en relación primero con la aspiración y luego con la descarga, esto último después de la disminución de su volumen con la correspondiente elevación de presión en su interior.

Compresores no volumétricos: son aquellos en que la transferencia de fluido es asegurada por una o varias ruedas a paletas que comunican la energía mecánica al fluido del cual su presión se eleva.

5.2 Clasificación de condensadores.

Se distingue dos clases de condensadores enfriados por aire:

- a) A circulación forzada: para los equipos de grupos comerciales y
- b) A circulación natural: para los equipos del grupo doméstico

Los condensadores a circulación natural pueden ser a su vez:

- A aletas
- A tubo y placa
- Condensadores-placa
- A laminilla
- A tubo e hilo

Los condensadores a circulación forzada están constituidos por una o varias hileras de tubos a aletas dispuestas en línea o alternados.

Los condensadores más comúnmente usados en refrigeración pueden ser:

- Condensador a una hilera
- Condensador a tres hileras de tubo en línea.

El área total de transferencia de calor es de 565m². De acuerdo a los requerimientos necesarios para el sistema a emplear se seleccionará la unidad condensadora modelo JBD/JLD para uso exterior, J*D7000H2, la cual cuenta con compresor 6DH3R3SME.

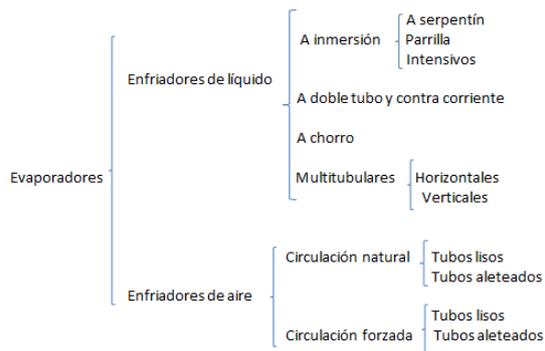
Debido a la gran capacidad que tendrá nuestra cámara frigorífica será necesario poder contar con 8 unidades condensadoras y sus respectivos compresores.

5.3 Clasificación de los evaporadores.

Según su objetivo los evaporadores se clasifican en:

- Evaporadores enfriados por líquido
- Evaporadores enfriados de gas (aire)

De una manera general estos a su vez se subclasifican de la siguiente forma:



La disposición de los evaporadores en la cámara frigorífica será la siguiente:

- Evaporadores colocados a lo largo de la cámara.

- Se instalarán 16 evaporadores tipo tumbado.

Aquellos resultados que se desean obtener son los siguientes:

- Al existir más de un evaporador es mucho mejor la distribución del aire frío,

- Al colocarlos a lo largo de la cámara la velocidad de salida del aire será lo suficiente como para que se puedan distribuir hasta la otra pared;

- Debido a que se necesita una velocidad lo suficientemente alta sobre la superficie de intercambio térmico para obtener mayores coeficientes de transferencia de calor.

La cámara frigorífica está considerada para trabajar con una humedad relativa del 85% y con tubos aleteados, por lo cual el valor del Δt estará entre 7°C y 8°C. Se usará un valor de 8°C, debido a que las diferencias de temperaturas son iguales, entonces el valor de Δt será igual a 8K.

El área de transferencia de calor del evaporador es igual a:

$$A = 147.82 \text{ m}^2$$

6. Selección de dispositivos de control automático.

Los principales dispositivos que componen el circuito frigorífico y los reguladores de variables externas que vamos a seleccionar son los siguientes:

- Válvula de expansión.
- Válvula solenoide.
- Termostato.
- Deshidratador (filtro secador).
- Visor.
- Separador de aceite.
- Válvula de presión constante.
- Recibidor horizontal.

6.1 Válvula de expansión.

De los dos tipos de válvula de expansión que pueden seleccionarse se eligió la termostática debido a que brinda seguridad adicional pues elimina los golpes de líquido. Tienen como objetivo controlar el recalentamiento del gas refrigerante a la salida del evaporador, asegurando de esta manera que la cantidad de líquido que ingresa al evaporador sea exactamente la misma que se evapora.

La capacidad nominal de refrigeración es:

$$Q_n = 50 \text{ KW}$$

6.2 Válvula solenoide.

Se utilizará una válvula solenoide operada por piloto, las cuales requieren que se produzca una caída de presión mínima de 0.05bar para así mantener abiertas las válvulas pilotos. El tipo de válvula requerida son los de la serie 100RB ó 200RB.

La capacidad nominal de la válvula es:

$$Q_n = 24 \text{ KW}$$

6.3 Termostato.

El termostato a seleccionar es de la serie TS1, para el sistema realizado se va a utilizar uno con carga de vapor y contacto SPTD con conmutador selector (automático/parada).

6.4 Deshidratador (Filtro secador).

Las condiciones para las cuales se encuentran tabulados los diferentes filtros difieren de acuerdo a la cámara y por lo tanto hay que aplicar un factor de corrección. La capacidad nominal es igual a:

$$Q_n = 931.55 \text{ KW}$$

6.5 Visor.

Existen dos tipos de visores, se seleccionó el que posee carcasa de acero inoxidable para de esta manera evitar un posible evento de corrosión. La selección está regida por el diámetro de la tubería de líquido, esto debido a que va instalado después del filtro secador, es así que para un diámetro de 35mm.

6.6 Separador de aceite.

Para poder seleccionar el separador de aceite se tiene que hallar la capacidad nominal en función de aquella que se seleccionará.

La capacidad nominal del separador de aceite es:

$$Q_n = 756.16 \text{ KW}$$

6.7 Válvula de presión constante.

Es necesario corregir la capacidad por medio de un factor de corrección de las temperaturas de condensación y evaporación. Al interpolar se obtuvo un valor de 1.124, por lo tanto al remplazar en la ecuación se tiene:

$$Q_n = 880.48 \times 1.124$$
$$Q_n = 989.67 \text{ KW}$$

6.8 Botella recibidora de líquido.

Para la botella de líquido se procedió a utilizar un recibidor horizontal que pertenece a la STANREF.

Aislamiento de la tubería del líquido refrigerante.-

Este aislamiento comprende desde la salida del condensador hasta el subenfriador de líquido, donde el aislante usado será del mismo espesor del hallado anteriormente, que es 25.4mm (1pulgada), el cual será de coquilla de fibra de vidrio.

7. Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

1. La Cámara Frigorífica ha sido dimensionada para almacenar 60000Kg. de papaya Sunrise Solo para exportación.
2. El tipo de pallets a utilizar fue seleccionado según la norma Europea, la cual permite determinar la capacidad de la cámara mediante la utilización de cargas unitarias para obtener a manipulación eficaz del producto.
3. Se empleará un sistema de refrigeración de expansión directa con el refrigerante HFC134a. La selección del refrigerante se dio porque fue el mejor al momento de compararlo con otros refrigerantes mediante una matriz de decisión.
4. El evaporador seleccionado presenta un tiro de aire de 20m, el cual está considerado para que funcione en cámaras que presentan 5.5m de altura, sin obstrucciones y con una velocidad final de 0.25m/s; por lo cual no presentará problemas en su funcionamiento para la Cámara diseñada.
5. Los cálculos realizados al hallar los diámetros y las caídas de presión se han producido al asumir valores de velocidad y caídas de presión que son admisibles para refrigerantes CFC's, debido a la similitud de las propiedades termodinámicas.
6. El Coeficiente de Rendimiento (COP) para el sistema de refrigeración es igual a 3.1. En máquinas

empleadas para la fabricación de hielo, así como en refrigeradores domésticos el Coeficiente de Rendimiento se encuentra en un rango entre 4 y 5.

7.2 Recomendaciones

1. Es importante emplear los equipos para las cargas a las que fueron diseñados y no provocar que trabajen fuera de su rango de diseño porque esto provocará un desgaste mayor.
2. Si se incrementara la capacidad de la Cámara sería necesario considerar aumentar el número de equipos para que el funcionamiento sea de una forma adecuada.
3. Es muy importante realizar el mantenimiento de los equipos en el tiempo adecuado, puesto que esto permitirá que su vida útil se mantenga, además de disminuir un posible gasto que representa la compra de un equipo nuevo.

8. Referencias

- [1] ASHRAE Handbook Refrigeration. The American Society of Refrigerating Engineers, New York, 1990.
- [2] CÓDIGO DE PRÁCTICAS PARA EL ENVASADO Y TRANSPORTE DE FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS, CAC/RCP 44, 1995.
- [3] EL DESARROLLO DE LAS AGROEXPORTACIONES EN EL ECUADOR: LA PRIMERA RESPUESTA EMPRESARIAL, William F. Waters.
- [4] EMBALAJES DE MADERA, Víctor Azócar Valdebenito.
- [5] INCROPERA FRANK P. – De WITT DAVID P., Fundamentos de Transferencia de Calor, Pretince Hall, 4ta Edición, 1999.
- [6] "MANUAL AGRÍCOLA DE LOS PRINCIPALES CULTIVOS DEL ECUADOR", Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias, INIAP.
- [7] MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, McGraw-Hill, 3ra edición en español, 1995.
- [8] NORMA DEL CODEX PARA LA PAPAYA, (CODEX STAN 183-1993)
- [9] "UNE 137005", NORMA DE ESTANDAR DE MEDIDAS DE CARTÓN ONDULADO PARA ENVASADO DE FRUTAS.
- [10] VARGAS ZUÑIGA ÁNGEL, Curso de Refrigeración, Editorial "Series VZ", 2da Edición, 1974.
- [11] VARGAS ZUÑIGA ÁNGEL, Instalaciones Frigoríficas para buques pesqueros, Editorial "Series VZ", 2da Edición.

[12] VARGAS ZÚÑIGA ÁNGEL, Transporte de carga en buques refrigerados, Editorial "Series VZ", 1991.