

## **TITULO**

# **“CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA CAMARA DE REFRIGERACIÓN PARA MANGO”**

## **AUTORES**

Juan Carlos Cueva V.<sup>1</sup>, Angel Vargas Z.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico. 2001

<sup>2</sup>Director de Tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1974, Post-Grado, 1975, Instituto Francés de Refrigeración Industrial. Profesor de ESPOL desde 1974.

## **RESUMEN**

La exportación del mango en el Ecuador tiene alrededor de una década, desde entonces esta fruta tropical se ha convertido en uno de los productos no tradicionales más importantes del Ecuador. En nuestro país existen actualmente alrededor de 9.000 hectáreas sembradas de mango. Debido al manejo óptimo que se le ha dado tanto al cultivo como a la exportación, las exportaciones de mango han crecido en un 1.039% en los últimos 5 años.

El mango después de cosechado tiene una vida de almacenamiento muy corta 10 a 12 días a temperatura ambiente, es de suma importancia establecer tanto métodos como condiciones óptimas para su conservación.

Con el presente proyecto se dará solución al problema expuesto anteriormente, y en el cual trataremos diversos aspectos como:

La Producción del mango, el Mercado de exportación del mango que para nuestro país cada vez es mayor; también se darán a conocer las diversas labores que se realizan en una Planta Empacadora; para luego centrarse en el Diseño de la Cámara Frigorífica para mango, incluyendo en este punto todos y cada uno de los factores que son importantes para esta.

## **CONTENIDO**

### **1. FACTIBILIDAD DEL PROYECTO**

#### **1.1 Producción del Mango**

El cultivo de mango para la exportación se inició en el Ecuador hace una década y desde entonces, esta fruta tropical se ha convertido en uno de los productos no tradicionales más importantes del Ecuador.

En la actualidad existen en el Ecuador alrededor de 9.000 hectáreas sembradas de mango. Debido al manejo adecuado del cultivo la producción de mango presenta una tendencia creciente, razón por la cual las exportaciones de mango han crecido en un 1039 % en los últimos 5 años.

Las variedades de exportación introducidas al país han sido escogidas en función al sabor y tamaño para satisfacer la demanda de sofisticados clientes internacionales. Las principales variedades son Tommy Atkins, Haden, Kent, Keitt y en una pequeña proporción, Van Dyke e Irwin. (2)

La producción tiene los siguientes pasos:

Esta comenzará con la adquisición de semilla calificada: El mango será sembrado en bolsas para que la semilla se desarrolle, luego de 6 o 7 meses es injertada con la yema de la variedad que el productor escoja. Transcurridos dos meses la planta prenderá en el vivero y será trasladada al campo e iniciará la producción.

Después de tres o cuatro años, dependiendo del tratamiento dado a la planta podrá darse la primera producción "pepiteo", en esta se obtendrán pocos mangos, por lo cual es recomendable reducir esta producción al máximo cortando las flores; el propósito de esto es que la planta se fortalezca para el siguiente año y las ramas pueden sostener la fruta.

#### **1.2 Mercado de Exportación del Mango**

El mango ecuatoriano ha conquistado mercados tan exigentes como Estados Unidos, Europa y Canadá. Actualmente, el principal destino de esta fruta tropical es Estados

Unidos. Países como Holanda, España, Alemania, Canadá, Reino Unido, entre otros; son también consumidores de esta fruta. La capacidad de las empacadoras nacionales de mango para cualquier destino bordea el millón de kilos diarios.

Además de abastecer de mango fresco al mercado mundial, importantes industriales del país han comenzado a exportar elaborados de esta fruta exótica: puré, concentrado, pulpa, etc. Los principales destinos de los elaborados de mango son: Estados Unidos, Holanda, Bélgica, Chile, Panamá, Colombia y Perú.

### 1.3 Análisis de la Curva de Tendencia del crecimiento de la producción del mango

En el año de 1986 Ecuador exportó 28 toneladas métricas que representaron \$ 22.200, en el año de 1992 la cantidad exportada fue de 465 cantidad equivalente a \$ 291.500; esto implica que en solamente seis años las exportaciones de esta fruta crecieron 400%, por lo que podríamos asumir que el crecimiento de exportación anual de esta fruta es del 50%.

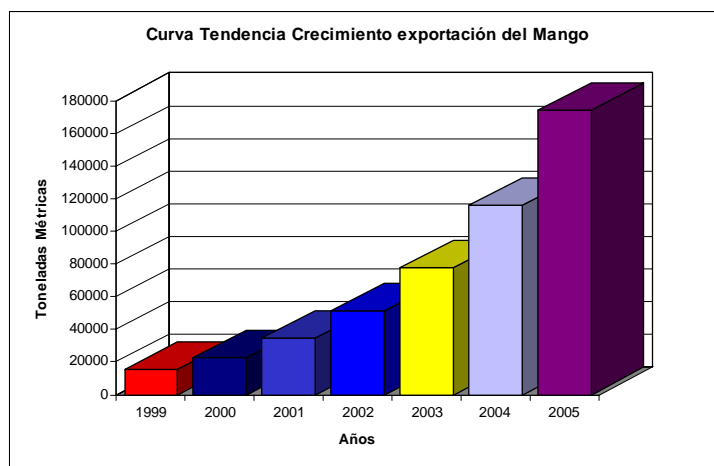


Figura 1 Curva Tendencia de crecimiento exportación del mango hasta el año 2005

## 2. PLANTA EMPACADORA

### 2.1 Generalidades

La labor de la planta empacadora varía de acuerdo al manejo, la tecnología y el destino de la fruta. Si la fruta está destinada para Estados Unidos hay una restricción para las frutas que son atacadas por las moscas, razón por la cual a la fruta se le deberá dar un tratamiento térmico especial con el cual se garantizará la

inexistencia de esta plaga. A continuación en la Figura 2 se representan los diferentes procesos a los cuales se debe someter un mango para ser exportado hacia Estados Unidos; en cambio si el destino de la fruta es Europa u otros mercados no será necesario tratamiento térmico alguno, el procedimiento a aplicarse en esta planta se encuentra en la Figura 3

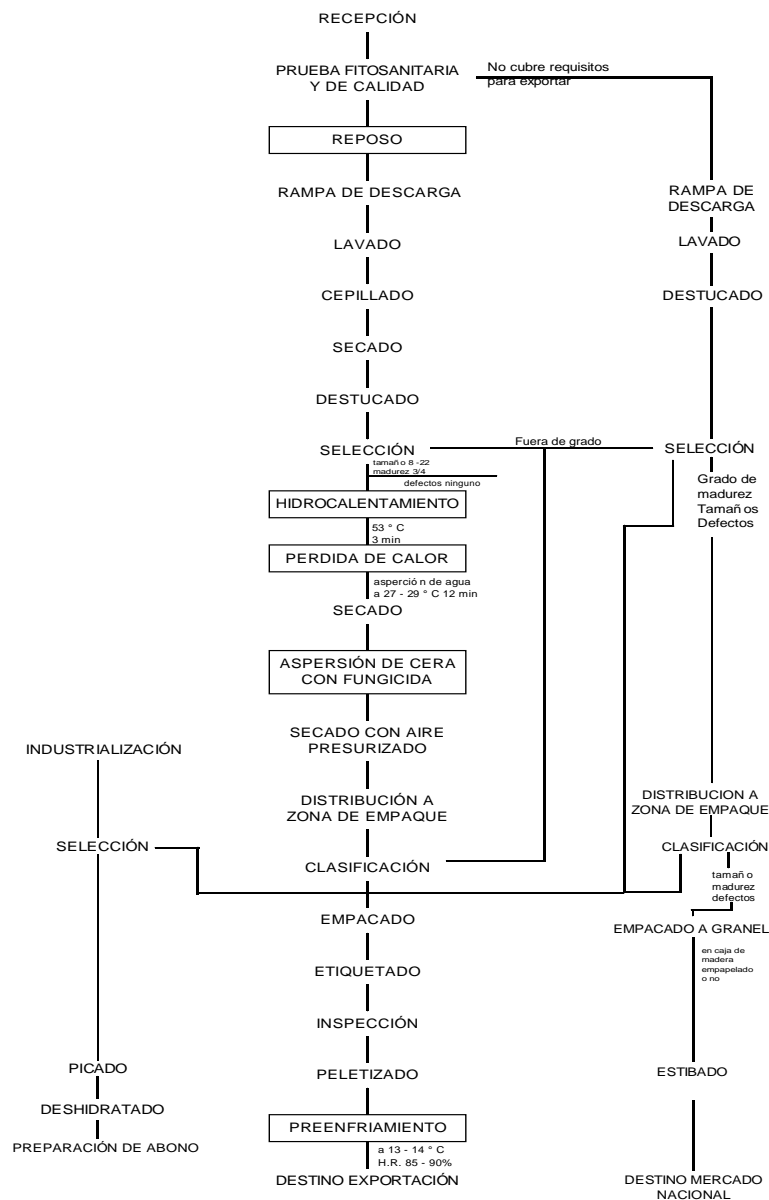


Figura 2 Diagrama de Flujo de Planta empacadora (destino USA)

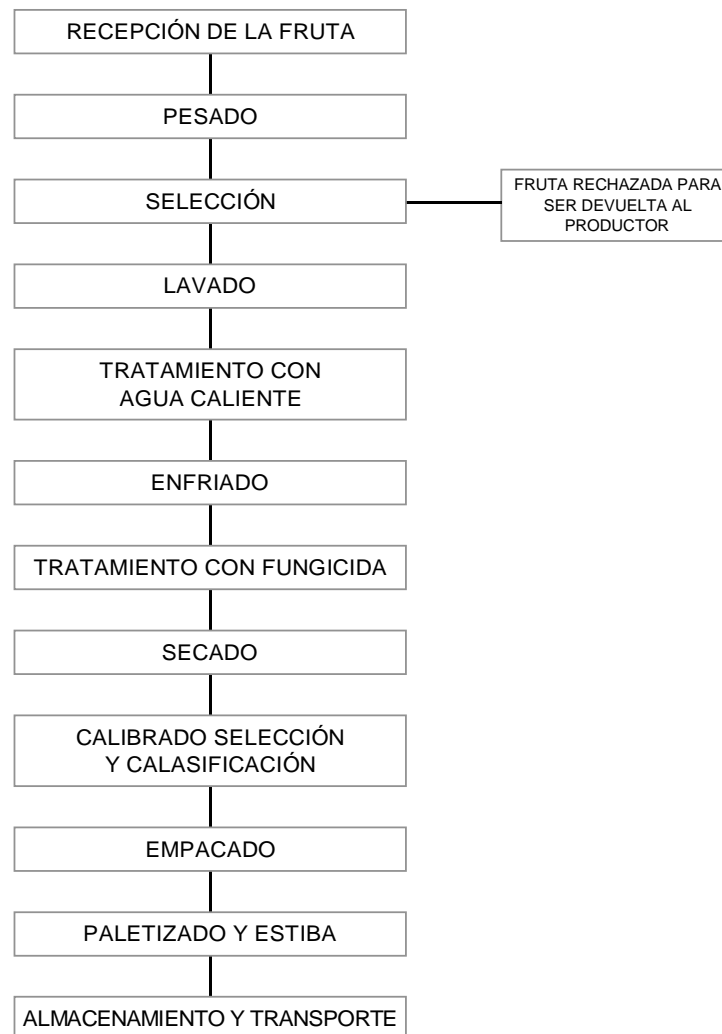


Figura 3 Diagrama de Flujo Planta empacadora (destino EUROPA y otros)

### 3. PROPIEDADES DEL MANGO

#### 3.1 Generalidades

El mango es una fruta tropical cuyo nombre científico es “*Mangifera Indica*”, originario de la India aunque también es originario del Sudeste Asiático, lugares en los cuales ha sido cultivado por más de 4000 años.

Al igual que en otras frutas y vegetales el clima es de vital importancia en la planta de mango, es decir los árboles localizados en lugares que tengan clima caliente y seco producirán más rápido que aquellos lugares que tengan un clima templado y húmedo.

El tiempo necesario para el desarrollo completo del fruto varía entre 4 y 5 meses, esta diferencia de tiempo depende tanto de la variedad de mango como del clima como ya se había citado.

**Tabla I Datos Técnicos recomendados para cultivo (10)**

<b>Temperatura de cultivo</b>	28 – 32 °C
<b>Altitud</b>	0 msnm - 600 msnm
<b>Precipitaciones</b>	130 – 250 mm <sup>3</sup> por año
<b>Suelos</b>	Francos, profundos, buen drenaje y abundante materia

**Tabla II Propiedades del Mango**

<b>Punto de congelación alto</b>	-0.9 °C - 30.3°F
<b>Vida aproximada de almacenamiento</b>	2 – 3 semanas
<b>Contenido de agua</b>	81.7 %
<b>Calor específico</b>	0.85 (BTU/lb. °F)
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	55 °F
<b>Humedad Relativa de almacenamiento</b>	85 – 90 %
<b>Calor específico sobre el punto de congelamiento</b>	0.85 BTU/lb/°F
<b>Calor específico bajo el punto de congelamiento</b>	0.44 BTU/lb/°F
<b>Calor latente</b>	117 BTU/lb

#### 4. CÁLCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA FRIGORÍFICA

##### 4.1 Determinación de las dimensiones de la Cámara

El tamaño de la cámara frigorífica, se seleccionará de los datos obtenidos de los diferentes exportadores de esta fruta, es decir, se hará un promedio de los datos de exportación diaria para determinar las dimensiones necesarias para almacenar los pallets.

La cámara estará diseñada para almacenar un volumen correspondiente a 66 pallets, que es el valor promedio de exportación por hacienda semanal (Valor obtenido en AGRIPRODUCT S.A.)

#### 4.2 Materiales de construcción

La Cámara estará construida de paneles prefabricados de acero (isopaneles), los cuales están constituidos por un núcleo de poliuretano inyectado "in-situ" entre dos láminas preformadas de acero galvanizado, prepintadas con dos capas de poliéster blanco, material resistente a la sal, este panel esta formado como un sándwich.

#### 4.3 Cálculo y selección del Aislamiento.

El aislamiento tendrá los siguientes espesores:

- Paredes: 8 cm
- Puertas 8 cm
- Techo 9 cm

#### 4.4 Cálculo de la Carga Frigorífica

Los datos necesarios para el diseño de la cámara de refrigeración son los siguientes:

**Tabla III Datos para el cálculo de la carga frigorífica**

Temperatura exterior promedio [ $T_m$ ]	32 °C	90°F
Temperatura de almacenamiento [ $T_A$ ]	13 °C	55.4 °F
Temperatura inicial de la fruta [ $T_i$ ]	20 °C	68 °F
Temperatura de bulbo húmedo [ $T_{WB}$ ]	10.83 °C	51.5°F
Humedad relativa de almacenamiento [ $HR_A$ ]	85-95 %	85-95 %
Humedad relativa del medio [ $HR_M$ ]	80 %	80 %
Calor de respiración del mango [ $I_r$ ]	2440 Kcal/TM/dia	8800 BTU/TM/dia
Calor específico del mango [ $c$ ]	15.96 Kcal/Kg/°C	0.85 BTU/lb/°F
Calor latente del mango [ $c_i$ ]	64.98 Kcal/Kg	117 BTU/lb

La carga frigorífica será igual a la suma del calor producido por:

- Aportes Internos
- Aportes externos
- Aportes misceláneos

$$Q_{TOTAL} = Q_U + Q_E + Q_M$$

$$Q_{TOTAL} = 20615.11 + 3195.71 + 7390.53$$

$$Q_{TOTAL} = 31201.35 \text{ Kcal/h}$$

$$Q_{TOTAL} = 123514.88 \text{ BTU / h}$$

#### 4.5 Selección del Refrigerante

El refrigerante HCF – 134a tiene un temperatura crítica que es igual a 101.08 °C, superior a la temperatura de condensación (determinada en el siguiente capítulo) y de la misma forma la temperatura de evaporación es mayor a la de ebullición del refrigerante (-26.6 °C) as la presión atmosférica.

Entonces el refrigerante a ser seleccionado por las razones antes expuestas será el HCF – 134a.

### 5. CÁLCULO DEL CICLO DE REFRIGERACIÓN

#### 5.1 Determinación de la temperatura de condensación

Para determinar la temperatura de condensación se partirá del dato conocido de la temperatura ambiente, entonces para condensadores enfriados por aire, la temperatura de condensación tendrá un  $\Delta T$  mayor a la temperatura media en el rango de 10 a 15 °C. (5)

$$T_{CONDENSACIÓN} = T_{MEDIO} + \Delta T$$

$$T_{CONDENSACIÓN} = 45 \text{ °C}$$

#### 5.2 Determinación de la temperatura de evaporación.

El factor a considerar para la selección de la temperatura de evaporación es la humedad relativa a la que se deberá encontrar el medio a enfriar en la Tabla IV (5), encontramos los rangos de diferencia de temperatura entre la temperatura de almacenamiento y la temperatura de evaporación, tomando en cuenta la humedad relativa.



En este caso con una humedad relativa de 85% para evaporadores de tubos con aletas, la diferencia de temperatura recomendada varía entre 7 y 8 °C. (5)

$$T_{\text{EVAPORACIÓN}} = T_{\text{ALMACENAMIENTO}} - \Delta T$$

$$T_{\text{EVAPORACIÓN}} = 13 \text{ °C} - 8 \text{ °C}$$

$$T_{\text{EVAPORACIÓN}} = 5 \text{ °C}$$

### 5.3 Selección y trazado del ciclo de Refrigeración.

Para dibujar el punto de partida del ciclo (punto 1), entrada del compresor, es necesario conocer la temperatura a la cual entra el refrigerante al compresor, la cual se la asumirá que tendrá 10 °C de recalentamiento sobre la temperatura de evaporación.

Por lo tanto el punto 1 tendrá las siguientes condiciones:

Presión de evaporación	3.4987 bar abs = 50.745 psia
Temperatura	15 °C = 59 °F
Entalpía ( $h_1$ )	262.7637 KJ/kg = 113 Btu/lb.
Volumen específico ( $v_1$ )	0.85 ft <sup>3</sup> /lb = 0.05308m <sup>3</sup> /kg

En el punto anterior inicia la compresión del refrigerante, asumiendo que el proceso es a entalpía constante y siguiendo la línea de entropía correspondiente a este punto, se intercepta la línea de presión de condensación (presión de descarga), teniendo el punto 2 las siguientes condiciones:

Presión de descarga ( $P_{\text{CONDENSACIÓN}}$ )	11.6102 bar abs = 168.393 psia
Entropía	0.5348 KJ/kg °K 0= 0.23 Btu/lb °F
Entalpía ( $h_2$ )	288.3425 KJ/kg = 124 Btu/lb

El refrigerante luego de ser comprimido, pasa a través del condensador, asumiendo presión constante, se encuentra las condiciones del punto 3:

Presión de condensación	11.6102 bar abs = 168.393 psia
Temperatura de condensación	45 °C = 113 °F
Entalpía ( $h_3$ )	114.4068 KJ/kg = 49.2 Btu/lb

El equipo se encuentra dotado de un intercambiador subenfriador entre la líneas de salida del condensador y la salida del evaporador, el intercambio de calor en ellas es ideal es decir lo que gana la una lo pierde la otra. Entonces se tomara un  $\Delta T$  de 10 °C de subenfriamiento, el cual es igual al  $\Delta T$  de recalentamiento a la entrada del compresor, entonces se determinará las condiciones del punto 4:

Presión de condensación	11.6102 bar abs = 168.393 psia
Temperatura	35 °C = 104 °F
Entalpia ( $h_4$ )	103.9428 KJ/kg = 44.7 Btu/lb

Una vez que el refrigerante haya sido condensado y subenfriado, estando en una condición de liquido saturado ésta es estrangulado al pasar a través del dispositivo de expansión, en este punto la presión es forzada a descender a entalpia constante, hasta alcanzar la condición de mezcla líquido-vapor a la entrada del evaporador, entonces encontramos el punto 5.

Presión de evaporación	3.4987 bar abs = 50.745 psia
Temperatura de evaporación	5 °C = 41 °F
Entalpia ( $h_5$ )	103.9428 KJ/kg = 44.7 Btu/lb

El refrigerante al pasara a través del evaporador absorbe el calor del medio y produce el efecto refrigerante, saliendo de este punto en forma de vapor saturado (idealmente sin caídas de presión y temperatura constante) encontrando de esta manera el punto 6

Presión de evaporación	3.4987 bar abs = 50.745 psia
Temperatura de evaporación	5 °C = 41 °F
Entalpia ( $h_6$ )	251.1370 KJ/kg = 108 Btu/lb

Para completar el ciclo de refrigeración, al salir el refrigerante del evaporador es recalentado en el intercambiador de calor, alcanzando nuevamente las condiciones del punto 1 y cerrando el ciclo de refrigeración.

#### 5.4 Cálculo de los principales parámetros del ciclo

##### *Flujo Másico*

$$\dot{m} = 887.4929 \text{ Kg/h}$$

### **Potencia del compresor**

$$P = 37239.1787 \text{ KJ/h}$$

$$P = 10336.804 \text{ W}$$

### **Caudal volumétrico desplazado por el compresor**

$$\dot{V} = 47.1165 \text{ m}^3/\text{h}$$

### **Calor Rechazado al medio**

$$Q_{\text{RECHAZADO}} = 163653.4245 \text{ KJ/h} = 39087.9489 \text{ Kcal/h} = 155010.9083 \text{ BTU/h}$$

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo al trabajo expuesto se concluye lo siguiente:

- 1 El mango se ha convertido en uno de los productos no tradicionales de mayor importancia en lo que tiene que ver a exportación.
- 2 La inversión inicial de producción es elevado pues la primera cosecha se la realizará a los cuatro años.
- 3 La fruta antes de ser colocada en las cajas para exportación es sometida a un estricto control de calidad para detectar defectos del producto, para luego ser sometida a un proceso de calentamiento para evitar enfermedades postcosecha de la fruta.
- 4 La cámara de conservación se diseño para conservar 66 pallets, promedio de producción semanal por hacienda exportadora.

- 5 Existen más de 1000 variedades de mango entre las variedades de exportación introducidas al país, las cuales han sido escogidas en función al sabor y tamaño para satisfacer la demanda de sofisticados clientes internacionales. Las principales variedades son Tommy Atkins, Haden, Kent, Keitt y en una pequeña proporción, Van Dyke e Irwin.
- 6 El aislamiento de las paredes y la puerta tendrá un espesor de 8 cm y el del techo de 9 cm.
- 7 El equipo ha de ser instalado deberá tener una capacidad de 11 TONELADAS DE REFRIGERACIÓN.

## **BIBLIOGRAFIA**

- 1 J. C. Cueva, "CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DE UNA CAMARA DE REFRIGERACIÓN PARA MANGO", (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2001)
2. INSTITUTO AGRARIO DE SANTA LUCIA, El ABC del Mango, 1992
3. PITA EDWARD, "Principios y Sistemas de Refrigeración", Editorial Limusa, Primera Edición en Español, México 1991
4. MARKS, "Manual del Ingeniero Mecánico", Tomo I y II, Mc Graw – Hill, Colombia, 1982
5. VARGAS ANGEL, "Curso de Refrigeración", Series VZ, Primera Edición, Ecuador, 1986
6. VARGAS ANGEL, "Transporte de carga en Buques Refrigerados", Series VZ, Ecuador, 1991
7. COPELAND, "Manual de Refrigeración", Parte 4, USA

8. HEATCRAFT, "Engineering Manual", USA, 1990
9. PROEXANT, "Curso sobre cultivo, procesamiento y comercialización de mango para exportación", Ecuador, 1992
10. AVILAN LUIS, ALVAREZ CARMELO, "El Mango", Editorial America, Primera Edición, Chacaito Caracas Venezuela, 1990