

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

"Enfriamiento rápido de productos agrícolas contenerizados"

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN
Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Marco Antonio Chabla Zeas

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

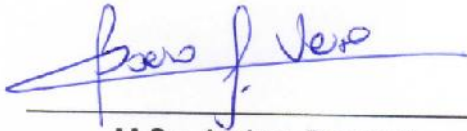
A mis Padres que hicieron posible mi educación y me guiaron en cada momento de mi vida.

A los amigos que de una u otra manera colaboraron con la realización de este TFG.

DEDICATORIA

A MI ESPOSA, AMIGA
Y COMPAÑERA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



M.Sc. Andrea Boero V.
VOCAL



M.Sc. José Hidalgo C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Marco Chabla Zeas', is written over a horizontal line.

Marco Chabla Zeas

RESUMEN

Para el caso de frutas y hortalizas, los mercados en el mundo demandan productos frescos y de excelente apariencia, por lo que después de ser cosechados, deben ser inmediatamente empacados y enfriados a la temperatura de transporte.

Los contenedores refrigerados no están diseñados para enfriar ningún tipo de carga, la unidad de refrigeración de estos recipientes solo tiene capacidad para mantener la carga a una determinada temperatura, pero no tienen capacidad para enfriarla en cortos lapsos de tiempo como es lo deseable.

La implementación de cámaras frigoríficas o túneles de enfriamiento, implica la construcción de costosos centros de acopio, a lo cual hay que sumar el transporte y manipulación adicional que deterioran la calidad de la producción por estropeo y aumentan la probabilidad de contaminación de cualquier tipo.

Ante este desafío, se encontró que lo ideal sería el enfriamiento rápido del producto una vez listo para su exportación y contenerizado, que el sistema de enfriamiento pueda estar disponible en los centros de producción y empaque.

En este caso el producto para el cual se implementó el sistema es el plátano, el mismo que se produce en zonas alejadas a los puertos de embarque (El Carmen Manabí) y que según la temporada, el índice de rechazo puede llegar a 4.2% en el mercado Europeo, por maduración temprana, pudrición de corona y estropeo.

El objetivo de este trabajo fue enfriar el producto en 5 horas desde la temperatura de empaque promedio, 27°C, hasta una temperatura en que la actividad biológica del producto sea mínima dentro del margen de seguridad, 15°C.

La metodología consistió en determinar la carga térmica del producto, medir los coeficientes de transferencia de calor entre el aire y el producto, estudiar el tipo de empaque que favorezca estos coeficientes y determinar caídas de presión y flujo de aire óptimo.

Los resultados de este trabajo demuestran que es posible alcanzar la temperatura de 15°C en el tiempo requerido, siendo viable la implementación del enfriamiento rápido de productos perecibles, de fácil implementación y que los beneficios en calidad, prolongación de vida en percha y disminución del rechazo en las empacadoras y los mercados lo hace económicamente rentable.

Palabras clave: Enfriamiento rápido de productos perecibles, Enfriamiento en contenedores, Enfriamiento portátil

Abstract

In the case of fruit and vegetable markets in the world demand fresh products and excellent appearance, which after being harvested, packaged and must be immediately cooled to the temperature of transport.

Refrigerated containers are not designed to cool any type of load, the cooling unit can only accommodate these vessels to maintain the load at a given temperature, but have no ability to cool in short periods of time as is desirable.

The implementation of cold or cooling tunnels, involves the construction of expensive storage facilities, to which must be added transport and additional handling that impair quality of spoiling production and increase the likelihood of contamination of any kind.

Faced with this challenge, it was found that ideally the rapid cooling of the product once and ready for export containerized, the cooling system may be available in the centers of production and packaging.

In this case the product for which the system was implemented is the banana, the same as occurs in remote ports of embarkation (El Carmen Manabi) areas and depending on the season, the rejection rate may reach 4.2% in the European market, early ripening, crown rot and spoil.

The objective of this study was to cool the product in 5 hours from the average packing temperature, 27 ° C, to a temperature at which the biological activity of the product is within the minimum safety margin 15 ° C.

The methodology was to determine the thermal load of the product, measuring the heat transfer coefficients between the air and the product, study the type of packaging that favors these coefficients and pressure drops and determine optimum airflow.

The results of this work show that it is possible to reach a temperature of 15 ° C in the time required, viable implementation of the rapid cooling of perishable products, easy to implement and that the benefits in quality, longer life hanger and decreased rejection in packing and markets makes economically profitable.

Keywords: Rapid cooling of perishable products

Pre-cooling in containers

Portable Cooling

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
ABSTRACT.....	4
ABREVIATURAS.....	8
SIMBOLOGÍA	9
ÍNDICE DE FIGURAS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO 1.....	14
ANTECEDENTES.....	14
1. ZONAS DE PRODUCCIÓN DE PLÁTANO EN ECUADOR	14
1.2 FORMA DE EMPAQUE.....	15
1.3 CENTROS DE ACOPIO	17
1.4 TRANSPORTE TERRESTRE	17
CAPÍTULO 2.....	18
DETERMINACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE LA CARGA CONTENERIZADA.....	18
2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PLÁTANO	18
2.2 CALOR DE RESPIRACIÓN.....	18
2.3 CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA DEL PRODUCTO.....	19
2.3.1 Carga térmica de la fruta	20
2.3.2 Cálculo del calor de respiración.....	21
2.3.3 Calor del cartón	21
2.3.4 Calor del Pallet.....	22
2.4 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL CONTENEDOR	22
2.5 CARGA TÉRMICA TOTAL.....	24
CAPÍTULO 3.....	25
DIMENSIONAMIENTO DE UNIDAD PORTATIL DE ENFRIAMIENTO RÁPIDO	25
3.1 Dimensionamiento del sistema de refrigeración.....	25
3.2 Determinación del flujo de aire	25

3.3 Medición del flujo de aire y caída de presión estática	27
3.4 Dimensionamiento del Evaporador	28
3.5 Dimensionamiento del Condensador	29
CAPÍTULO 4	30
CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO	30
4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA	30
4.2 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	30
4.3 SISTEMA ELÉCTRICO	31
4.4 SISTEMA DE CONTROL	32
CAPÍTULO 5	33
PRUEBA DE UNIDAD DE ENFRIAMIENTO RAPIDO	33
5.1 Montaje del prototipo en contenedor de 40 pies	33
5.2 Resultados de la prueba	34
CAPÍTULO 6	36
ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FACTIBILIDAD	36
6.1 RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA	36
6.2 APLICACIÓN	37
CAPÍTULO 7	38
ANÁLISIS ECONÓMICO	38
7.1 IMPLEMENTACIÓN	38
7.2 OPERACIÓN	38
7.3 COSTO FINANCIERO	39
7.4 DEPRECIACIÓN	41
7.5 DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL SERVICIO	41
CAPÍTULO 8	43
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
8.1 CONCLUSIONES	43
BIBLIOGRAFÍA	45
APENDICES	47

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
INEC	Instituto Nacional Estadísticas y Censos
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers</i>
IICL	<i>Institute of International Containers Lessors</i>
BTU	<i>British Thermal Unit</i>
CFM	<i>Cubic Feet per minute</i>

SIMBOLOGÍA

H	Hidrógeno
H_2O	Agua
O ₂	Oxígeno
C	Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
C ₆ H ₁₂ O ₆	Glucosa
ml	Mililitro
mg	Miligramo
kg	Kilogramo
m	Metro
kJ	Kilo Julio
W	Watt
KW	Kilowatt
°C	Grado Celsius
K	Grado kelvin
h	Hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa, zonas de producción nacional.....	14
Figura 1.2 Caja telescópica de cartón.....	16
Figura 1.3 Esquema, estiba de contenedores (DEL AUTOR).....	16
Figura 2.1 Especificaciones de diseño de contenedor refrigerado 40FT marca: QUINDAO	23
Figura 3.1 Esquema de prueba para medición de flujo de aire y caída de presión estática en pallets de plátano (DEL AUTOR 1999)	27
Figura 3.2 Esquema de unidad de refrigeración	29
Figura 4.1 Construcción de prototipo	31
Figura 4.2 Diagrama eléctrico de control	32
Figura 5.1 Colocación de la unidad de enfriamiento rápido en un contenedor de 40 pies	33
Figura 5.2 Datos de sensor de retorno y grafico (Temp. vs. Tiempo)	34
Figura 5.3 Temperatura de pulpa de la fruta.....	35
Figura 7.1 Del Catálogo de RCR refrigeración	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Producción platanera por región (ESPAC INEC)	15
Tabla 2.1 Propiedades físicas y térmicas del plátano “barraganete” verde (ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences)	18
Tabla 2.2 Tasa de respiración del plátano (Becker et al. 1996)	19
Tabla 3.1 Datos obtenidos de la carta psicrométrica a 500 msnm.....	26
Tabla 3.2 Flujo de aire y caída de presión en dirección vertical a través de pallets de plátano de 48 cajas (DEL AUTOR 1999).....	28
Tabla 5.1 Prueba de enfriamiento rápido en contenedor TRLU167791-9 (DEL AUTOR oct-2007)	35
Tabla 7.1 Costo de componentes en \$USD.....	38
Tabla 7.2 Costo del personal	39
Tabla 7.3 Costo del Mantenimiento	39
Tabla 7.4 Costo Financiero.....	40
Tabla 7.5 Costos fijos y variables	41

INTRODUCCIÓN

La necesidad de construir un sistema de enfriamiento rápido, especialmente para plátano, se debe principalmente a la dificultad técnica que se presenta al momento del transporte refrigerado en contenedores. Por la complejidad geográfica de las áreas de producción (zona montañosa) y la distancia hasta los centros de acopio, transcurre mucho tiempo entre el corte y el empaque de la fruta, la que por su naturaleza climatérica empieza inmediatamente su proceso de maduración si no se inhibe su actividad metabólica con la disminución de la temperatura.

Al consolidar 960 cajas de 20 kg a una temperatura promedio de 28°C en un contenedor de 40ft refrigerado, la masa de la fruta y el calor de respiración de la misma, demandan al sistema de refrigeración del contenedor toda la capacidad posible, haciendo colapsar al generador de electricidad que tiene una capacidad estándar de generación de 15 kW. El resultado de lo indicado termina por incrementar el tiempo sin refrigeración del producto, en promedio 12 horas de transporte hasta la conexión con el puerto de embarque, con el agravante de altas concentraciones de etileno que finalmente madura anticipadamente la carga.

Como una alternativa de solución a lo indicado, se considera la construcción de máquinas portátiles de enfriamiento que puedan acoplarse a un contenedor cargado, y sea capaz de enfriar la carga en pocas horas hasta un

punto en que el trabajo pueda ser concluido por la unidad de refrigeración del contenedor. De esta manera se disminuye el tiempo sin refrigeración de la fruta, asegurando el transporte refrigerado hasta el puerto de embarque para su exportación.

Con la implementación de este equipo no solo se espera eliminar los rechazos, sino también lograr un producto de mejor calidad y con mayor tiempo de vida verde; permitiendo a productores ecuatorianos ser competitivos en mercados alejados y exigentes como el europeo.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1. ZONAS DE PRODUCCIÓN DE PLÁTANO EN ECUADOR

La variedad de plátano que el país exporta, y por tanto la de análisis, es la especie “Musa balbisiana” conocida en el medio como barraganete.

Ecuador al estar localizado en la zona tropical, cuenta con las condiciones de temperatura y humedad óptimas que le permiten tener una producción constante en todo el año.

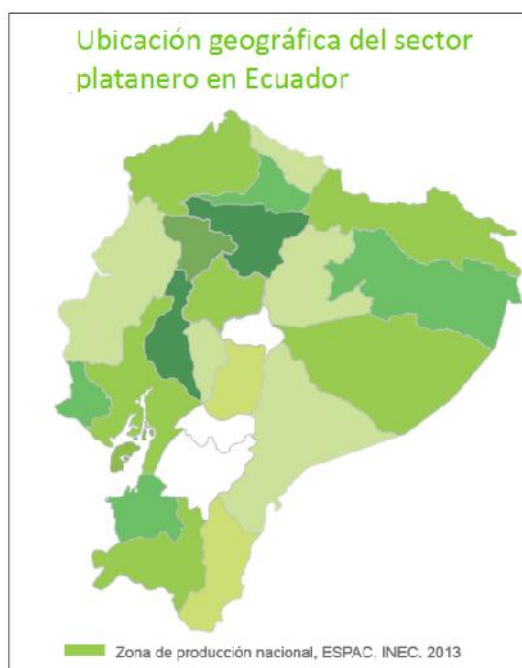


Figura 1.1 Mapa, zonas de producción nacional
Fuente: Apellido o Nombre Institución, año.

Si bien es cierto que esta fruta se puede producir en todo el territorio nacional (ver Figura 1.1), la producción exportable se concentra en el sector del

cantón El Carmen en la provincia de Manabí con el 38% de la producción nacional.

Tabla 1.1 Producción platanera por región (ESPAC INEC)

Región/Provincia	Superficie (Has)		Producción TM
	Plantada	Cosechada	
Manabí	50,376	38,190	228,021
Guayas	10,820	7,850	51,421
Los Ríos	10,313	6,350	36,336
Esmeraldas	12,034	10,838	34,395
El Oro	1,130	771	4,002
Santa Elena	685	540	2,151
Región Costa	85,358	64,045	356,328
Santo Domingo	12,981	17,836	84,151
Cotopaxi	6,487	5,841	37,808
Bolívar	8,763	9,520	29,471
Imbabura	2,214	1,891	9,698
Pichincha	781	882	3,150
Chimborazo	331	331	2,410
Loja	249	145	239
Carchi	91	71	167
Región Sierra	38,897	36,217	167,096
Chimborazo	331	331	2,410
Loja	249	145	239
Carchi	91	71	167
Región Sierra	38,897	36,217	167,096
Pastaza	5,378	5,116	21,320
Morona Santiago	5,445	4,132	19,960
Orellana	1,777	3,813	11,782
Zamora	4,214	2,986	11,384
Napo	3,088	2,653	9,198
Sucumbios	3,285	2,251	7,047
Región Oriental	27,167	20,961	80,711
TOTAL NACIONAL	151,462	121,824	604,133

Fuente: ESPAC, INEC.
Elaboración: Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones, PROFUADOR

1.2 FORMA DE EMPAQUE

Para la exportación, el plátano se empaqueta en cajas de cartón corrugado resistente tipo telescópica, es decir en dos partes (Figura 1.2); la caja cuenta con perforaciones en el fondo, tapa y paredes laterales que permiten la circulación del aire. Las dimensiones de la caja mayormente usada son: largo 51 cm., ancho 39 cm. y alto 24 cm.

En cada caja caben entre 65 y 70 plátanos para completar los 20 Kg. Estos se colocan de manera individual a manera de capas con láminas de plástico

perforadas entre capa que evitan la fricción durante el transporte y permiten el flujo de aire en sentido vertical.



Figura 1.2 Caja telescópica de cartón

En un contenedor de 40 pies refrigerado caben aproximadamente 960 cajas, paletizadas en 20 estibas, cada una con 48 cajas, con una base formada por seis cajas, y una altura de ocho (ver Figura 1.3).

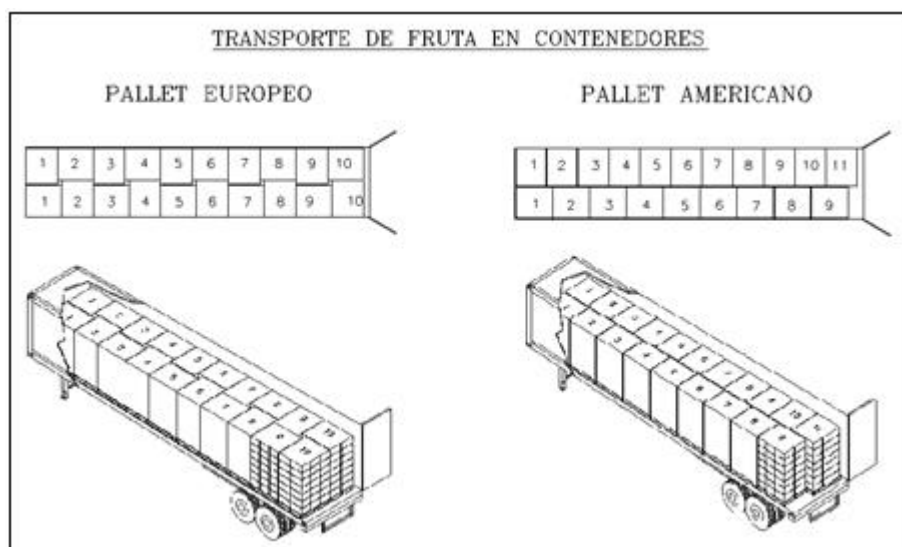


Figura 1.3 Esquema, estiba de contenedores (DEL AUTOR)

1.3 CENTROS DE ACOPIO

Los centros de acopio, son puntos de entrega recepción de la fruta ya empacada, con que cuentan las asociaciones de productores o las compañías exportadoras. Estos están distribuidos estratégicamente en las zonas de producción, y es donde se consolida la fruta en contenedores y se inicia la cadena de frío.

Es en estos lugares donde tienen aplicación las unidades de enfriamiento rápido (*precooling*).

1.4 TRANSPORTE TERRESTRE

El transporte desde los centros de acopio hasta los puertos de embarque, se lo realiza en contenedores refrigerados, los mismos que deben contar con generadores para suministrar energía eléctrica (460V/3ph/60Hz) a la unidad de refrigeración.

Los generadores estándar son de 15 KVA y funcionan con motores a diésel; estos pueden ser de dos tipos “*under-slung*” colocados en el chasis de arrastre del contenedor, o “*clip-on*” que van colocados en la parte frontal del contenedor.

CAPÍTULO 2

DETERMINACIÓN DE LA CARGA TÉRMICA DE LA CARGA CONTENERIZADA

2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL PLÁTANO

Para determinar la cantidad de calor a remover de la fruta, es necesario conocer las propiedades físicas y térmicas de la misma.

Los valores requeridos varían de acuerdo a la proporción de humedad en la fruta, por lo que se muestran los valores con la cantidad de humedad al momento del empaque.

Tabla 2.1 Propiedades físicas y térmicas del plátano “barraganete” verde (ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences 2010)

PROPIEDADES FISICAS Y TERMICAS Plátano barraganete verde			
Item	Descripción	Valor	Unidad
1	Contenido de agua	65,00	%
2	Densidad	1157,60	Kg/m ³
3	Calor específico Cp (sobre el punto de congelación)	3,56	KJ/(Kg.°K)
4	Conductividad térmica	0,5431	W/(m.°C)

2.2 CALOR DE RESPIRACIÓN

Las frutas y vegetales son productos que se mantienen vivos y continúan respirando después de la cosecha. Durante la respiración los azúcares con la glucosa se combinan con el oxígeno para producir CO₂ y H₂O, y el calor de

respiración es liberado dentro de esta reacción exotérmica. La tasa de respiración varía con la temperatura, decrece cuando esta disminuye, y se reduce con el tiempo.



La reacción química, indica que para producir 6 moles de dióxido de carbono, hay 2667 kJ del calor generado. Así, por cada miligramo de dióxido de carbono producido, se generan 10,7 julios de calor (USDA, 1986).

Tabla 2.2 Tasa de respiración del plátano (Becker et al. 1996)

TASA DE RESPIRACION DEL PLATANO POST COSECHA									
T °C	12	14	16	18	20	22	24	26	28
ml(CO ₂)/(kg .h)	28,54	35,11	42,61	51,02	60,37	70,62	81,81	93,91	106,93

Fuente: Becker et al. (1996)

De esta manera la generación de calor por unidad de masa en W/kg se calcula con la siguiente relación:

$$W_r \quad \dot{m} = 0,00297 \cdot \left(\frac{m}{k \cdot h}\right) \cdot m \quad (1)$$

2.3 CÁLCULO DE LA CARGA TÉRMICA DEL PRODUCTO

El calor total a extraer del producto, es la suma del calor para bajar la temperatura de la masa de la fruta, más el calor de respiración de la misma, más el calor del embalaje (cartón y pallets)

$$Q_p = Q_{p \text{ áti}} + Q_r \quad \dot{m} + Q_c \quad \dot{m} + Q_p \quad (2)$$

2.3.1 Carga térmica de la fruta

El calor necesario remover para bajar la temperatura de la fruta es proporcional al peso, al calor específico y al diferencial de temperatura, lo que nos da la relación:

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

Donde:

Q = Calor

m = Masa del producto

C_p = Capacidad calorífica

T = diferencial de temperatura

La masa de la fruta se obtiene multiplicando los 21 kg que pesa cada caja por las 960 cajas con que se llena un contenedor. Cabe anotar que se colocan 21 kg en cada caja para que llegue al mercado 20 kg, debido a la pérdida de peso por des humidificación durante el transporte.

$$m = 21\text{kg/caja} * 960\text{cajas} = 20.160 \text{ kg}$$

El diferencial de temperatura se obtiene de la diferencia entre la temperatura promedio durante el empaque que es de 28°C y la temperatura a la que se desea enfriar la fruta, que por razones de seguridad para evitar el daño por frío (*chilling*) se la consideró en 15°C. Esto es un T igual a 13°C (13 K).

La capacidad calorífica (C_p) de la fruta se la obtiene de la Tabla 2.1, y esta es 3,56 KJ / (kg.K).

De esta manera el calor necesario extraer a la fruta para bajar la temperatura en 13°C reemplazando los valores en la relación (3) es:

$$Q_{\text{plátano}} = 933.004,8 \text{ kJul}$$

El tiempo en el cual se pretende bajar el diferencial de temperatura indicado a la fruta es de máximo 5 horas, entonces:

$$Q_{\text{plátano}} = 933.004,8 \text{ kJul} / (5 * 3600) \text{ s}$$

$$Q_{\text{plátano}} = 51.834 \text{ Watt}$$

2.3.2 Cálculo del calor de respiración

El calor de respiración se lo obtiene, considerando la temperatura promedio entre el inicio y final del proceso de enfriamiento, 28°C y 15°C, esto es, una temperatura de 22°C; y usando los valores de la Tabla 2.2, reemplazando los valores en la relación (1):

$$Q_{\text{respiración}} = 4228 \text{ Watt}$$

2.3.3 Calor del cartón

Cada caja de cartón telescópica tiene un peso de 0,92 kg, y las 960 cajas tienen un peso total de 883,2 kg. El papel para cartón tiene una capacidad calorífica (C_p) de 1,4 kJ/(kg.K), y el diferencial de temperatura es 13 K. Reemplazando los valores en la relación (3) se obtiene:

$$Q_{\text{cartón}} = 893 \text{ W}$$

2.3.4 Calor del Pallet

Las pallets utilizados son de 1200 mm x 1060 mm de madera de pino, cada uno pesa en promedio 22 Kg, teniendo las 20 paletas un peso total de 440 kg, la capacidad calorífica de la madera de pino es 2,805 kJ/(kg.K), y el diferencial de temperatura es 13 K. Reemplazando los valores en la relación (3) se obtiene:

$$Q_{\text{pallet}} = 891 \text{ Watt}$$

Conociendo la cantidad de calor de la fruta, calor de respiración y calor del empaque, se determina el calor global del producto, usando la relación (2)

$$Q_{\text{producto}} = 57.846 \text{ Watt}$$

Considerando un factor de seguridad de 10%

$$Q_{\text{producto}} = 63.630 \text{ Watt}$$

2.4 CÁLCULO DE TRANSFERENCIA DE CALOR A TRAVÉS DE LAS PAREDES DEL CONTENEDOR

Los contenedores refrigerados, sean estos de 20 o 40 pies, de altura estándar o *high cube*, se construyen bajo un estándar común en todo el mundo; todos los fabricantes deben cumplir con las mismas convenciones y normas tales como IICL (*Institute of International Container Lessors*) y CSC (*Container Service Charges*) para que puedan navegar e ingresar en cualquier país.

Para determinar el calor que se transfiere desde el ambiente hasta el interior del contenedor se utiliza las especificaciones del fabricante, quien incluye en

la placa del contenedor el factor “U” de transferencia de calor como función del diferencial de temperatura.



**Figura 2.1 Especificaciones de diseño de contenedor refrigerado 40FT
marca: QUINDAO**

De esta manera, el valor $U \cdot A$ global de transferencia de calor a través de las paredes, piso, techo y puertas de un contenedor refrigerado de 40 pies es 43 W/K.

El cálculo de la transferencia de calor a través de una superficie compuesta viene dada por la ecuación:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (4)$$

Donde:

U = Coeficiente global de transferencia de calor

A = área de la superficie

El diferencial de temperatura se lo calcula considerando condiciones extremas como una temperatura ambiente de 40°C y la temperatura deseada dentro del contenedor 15°C. El valor $U \cdot A$ se lo obtiene de la placa del contenedor (Fig. 2.1). Reemplazando los valores en la ecuación (4) da como resultado:

$$Q_{\text{contenedor}} = 1.075 \text{ Watt}$$

2.5 CARGA TÉRMICA TOTAL

La carga térmica total es la suma del calor extraído al producto consolidado, más el calor que se transfiere a través de la superficie del contenedor.

En esta fase de enfriamiento y durante el transporte en tierra, a pesar de la alta generación de CO₂ y Etileno, para evitar contaminación con gases de combustión de los generadores, vehículos de arrastre, e ingreso de insectos, no se considera la apertura de las compuertas de ventilación de los contenedores, sino hasta la conexión de estos en los barcos. De esta manera la carga térmica total a remover, es la suma del calor del producto consolidado más el calor transferido a través de la superficie del contenedor.

$$Q_{t_i} = Q_p + Q_{c_i} \quad (5)$$

Reemplazando los valores en la relación (5) se obtiene la carga térmica para el diseño de la unidad de enfriamiento rápido.

$$Q_{\text{total}} = 64.705 \text{ Watt (220.783 BTU/h)}$$

CAPÍTULO 3

DIMENSIONAMIENTO DE UNIDAD PORTATIL DE ENFRIAMIENTO RÁPIDO

3.1 Dimensionamiento del sistema de refrigeración

Conociendo la carga térmica para enfriar el contenedor consolidado con plátano, y considerando las capacidades de los equipos que ofrece el mercado de la refrigeración, se determina la capacidad de la unidad a construir en 240.000 BTU/H dividiendo la capacidad en dos compresores herméticos de 120.000 BTU/H cada uno.

3.2 Determinación del flujo de aire

El flujo de aire requerido para intercambiar el calor del producto con el serpentín del evaporador, se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_a = \frac{Q_t}{\rho_a \cdot (h_e - h_s)} \quad (6)$$

Donde:

\dot{m}_a = Flujo volumétrico de aire

ρ_a = Densidad del aire que circula por el evaporador

h_{ea} = Entalpia especifica del aire húmedo a la entrada del evaporador

h_{sa} = Entalpia especifica del aire húmedo a la salida del evaporador

Las propiedades del aire como densidad y entalpía se obtienen a 500 metros de altitud que es el promedio del sitio donde se proyecta usar la unidad de enfriamiento. Cabe indicar que la humedad relativa dentro del contenedor

debe ser entre 88 y 92%, si es menor a 88% la fruta se deshumidifica, si es superior a 92%, el cartón pierde su rigidez y la carga se aplasta con su propio peso. La mínima temperatura saliendo del evaporador es debe ser 7.5°C, por debajo de este valor la fruta sufre quemaduras por frío (*chilling*).

Con las condiciones indicadas partiendo de las temperaturas de bulbo seco y humedad relativa a la entrada y salida del evaporador, de la carta psicrométrica se obtienen las propiedades del aire requeridas, especificadas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 Datos obtenidos de la carta psicrométrica a 500 msnm

Propiedades del aire				
T_{bs} [°C]	HR [%]	ρ_a [kg/m ³]	h_{ea} [J/kg]	h_{sa} [J/kg]
15	90	1,14	41.036	~
7,5	92	~	~	23.364

Reemplazando los valores en la ecuación (6) se obtiene:

$$a = 3.21 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (6.806 CFM)}$$

Este valor se lo divide para los 20 pallets del contenedor y se obtiene que el flujo de aire por pallet es de 0,16 m³/s (340 CFM)

3.3 Medición del flujo de aire y caída de presión estática

Para determinar cuánto aire puede fluir entre la carga en sentido vertical a través de los orificios del empaque, se realizaron pruebas para diferentes caudales de aire.

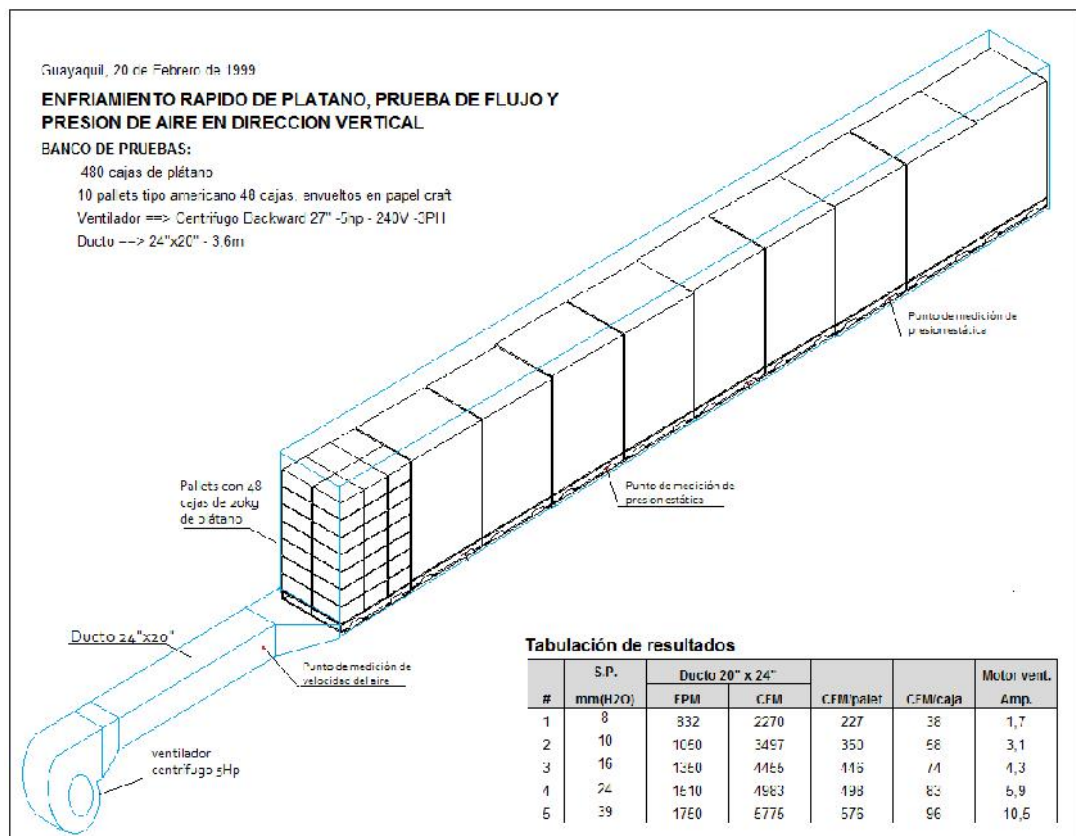


Figura 3.1 Esquema de prueba para medición de flujo de aire y caída de presión estática en pallets de plátano (DEL AUTOR 1999)

La prueba realizada permite conocer la cantidad de aire que se puede forzar entre las cajas de plátano y la caída de presión estática, y con esto seleccionar el tipo de ventilador, su tamaño y potencia requerida.

Tabla 3.2 Flujo de aire y caída de presión en dirección vertical a través de pallets de plátano de 48 cajas (DEL AUTOR 1999)

FLUJO DE AIRE	Caída de presión estática pulg.H ₂ O				
	0,31	0,39	0,63	0,94	1,54
CFM/pallet	227	350	446	498	576
CFM/caja	38	58	74	83	96

La Tabla 3.2 indica que es factible manejar los 0,16 m³/s (340 CFM) por pallet previamente calculado, puesto que la caída de presión en el producto no será más de 0.39 pulg.H₂O.

3.4 Dimensionamiento del Evaporador

Por la geometría favorable y disponibilidad, el evaporador se diseñó a partir de los evaporadores de los contenedores refrigerados. Para las condiciones requeridas, temperatura de evaporación de +2°C y con el refrigerante utilizado R134a, cada evaporador puede proporcionar una capacidad de 40.000 BTU/H. Por lo que se utilizaron seis de éstos dispuestos en paralelo (ver Figura 3.2).

Considerando el resultado del cálculo del flujo de aire, los datos de caída de presión en el producto de la Tabla 3.1, más la caída de presión en los serpentines del evaporador y las pérdidas de presión para suministrar aire por debajo de la carga (entre el pallet y el piso “*T-bar*” del contenedor), se selecciona un ventilador centrífugo de 8600 CFM, 3 pulg.H₂O, 7 ½ Hp.

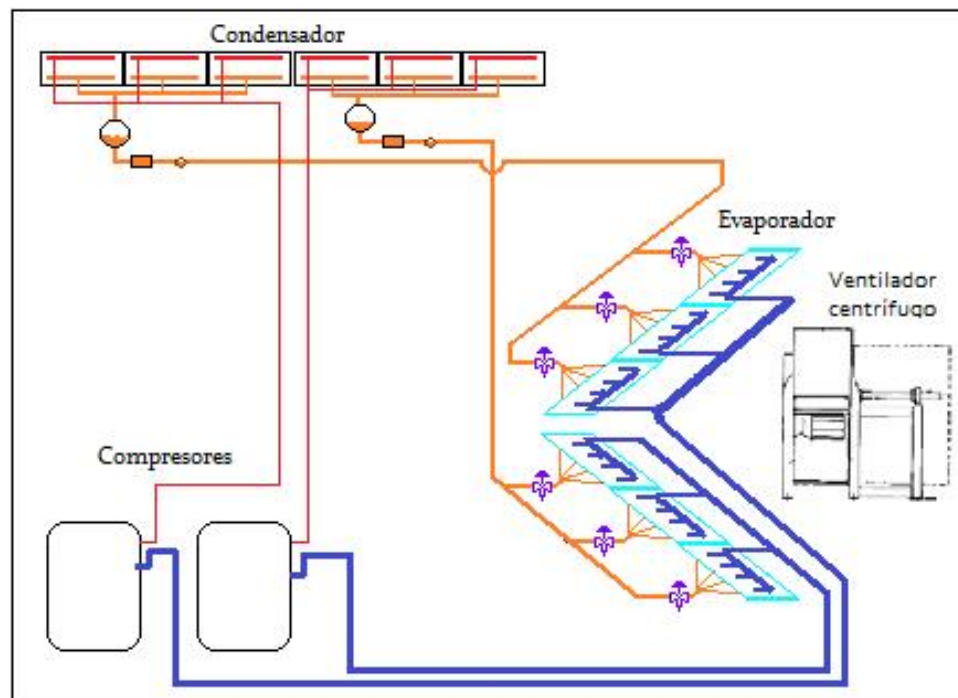


Figura 3.2 Esquema de unidad de refrigeración

3.5 Dimensionamiento del Condensador

Con el mismo criterio utilizado para el evaporador, se utilizan 6 condensadores enfriados por aire de contenedores refrigerados, cada uno con capacidad de 40.000 BTU/H con sus respectivos ventiladores de 0,5 HP.

CAPÍTULO 4

CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO

4.1 CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA

El prototipo se construyó reciclando partes de contenedores que fueron afectados en USA durante el paso del huracán Katrina en el año 2005.

Como estructura se utilizó la sección de un contenedor de 40 pies, reforzando las esquinas y abriendo accesos laterales para la instalación y mantenimiento del ventilador.

El equipo fue diseñado para que se ensamble a un contenedor con sus puertas abiertas, sujetándose a las esquinas del contenedor (*corner fitting*), el hermetismo se logró mediante un accesorio que se acopla al marco del contenedor utilizando el mecanismo de cierre de las puertas; y se selló con la carga mediante el uso de fundas inflables (*air bags*).

4.2 INSTALACIÓN DE SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Los compresores, accesorios como filtros de líquido, visores de refrigerante, válvulas solenoides, presostatos y motor del ventilador del evaporador, se colocaron en un alojamiento externo, con fácil acceso y alta mantenibilidad.

El condensador al tener descarga vertical de aire se lo instala en la parte superior, en el techo de la unidad.

Las tuberías de refrigerante líquido y gas, fueron dimensionadas de acuerdo a los manuales ASHRAE 90.1 considerando las caídas de presión y

velocidades óptimas que mantengan el recalentamiento del refrigerante en no más de 1.5°C y permitan el retorno de aceite al compresor.



Figura 4.1 Construcción de prototipo

4.3 SISTEMA ELÉCTRICO

El tablero eléctrico y de control se lo instala en la parte externa para fácil operación y monitoreo, en una cavidad que lo protege de golpes o afectaciones durante el transporte y manipulación.

El suministro eléctrico es de 460V, 3ph, 60Hz, y el consumo de corriente es 48 Amperios. Eléctricamente el sistema consta de dos partes con el ventilador del evaporador como elemento común; lo cual permitió dividir en dos partes la conexión del sistema al suministro eléctrico, mediante dos extensiones con cable concéntrico #10 AWG y 2 enchufes a las tomas de conexión estándar de los contenedores que están diseñadas para 30 Amp.

4.4 SISTEMA DE CONTROL

El control de temperatura se lo realiza con un termostato electrónico de alta precisión que procesa la información de sensores de temperatura colocados en el suministro y retorno de la corriente aire.

Los compresores paran de manera secuencial en la medida que el aire de retorno se acerca a la temperatura establecida.

En la Figura 4.2 se detalla el diagrama eléctrico del sistema de control.

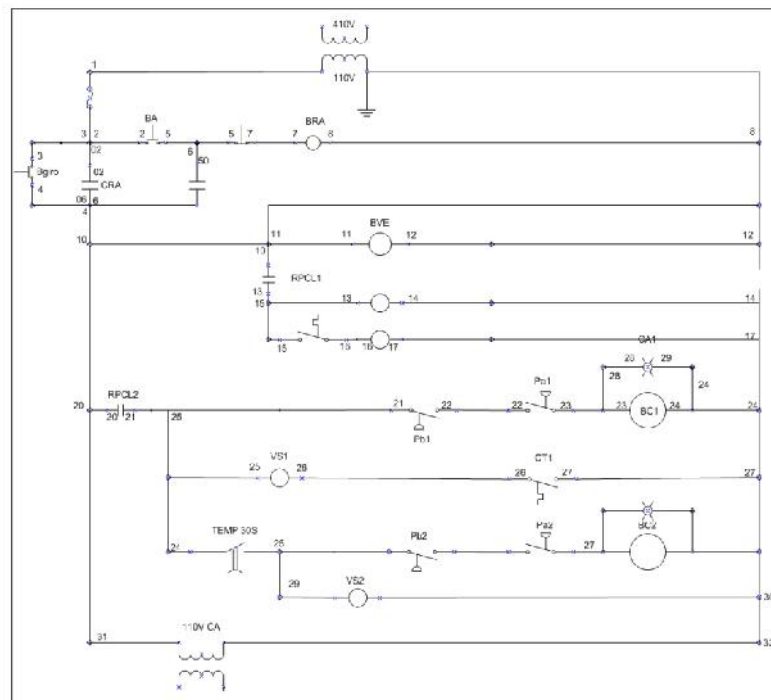


Figura 4.2 Diagrama eléctrico de control

CAPÍTULO 5

PRUEBA DE UNIDAD DE ENFRIAMIENTO RAPIDO

5.1 Montaje del prototipo en contenedor de 40 pies

Una vez armado el equipo y probado el funcionamiento de sus componentes, se procede a realizar pruebas con un contenedor cargado con fruta de exportación.

El concepto es que la unidad esté montada en una plataforma con ruedas, pero para efectos de prueba se manipula la unidad con un montacargas.



Figura 5.1 Colocación de la unidad de enfriamiento rápido en un contenedor de 40 pies

5.2 Resultados de la prueba

La primera prueba se realizó con estricto apego a los parámetros de diseño, se la programa para que dure 5 horas dando inicio a las 09:00 y concluyendo a las 15:00.

Se colocan medidores de temperatura (incluyendo *data loggers*) para documentar la variación de la temperatura del aire de retorno dentro del contenedor, y de la pulpa de la fruta en un pallet colocado en el centro del contenedor y en cajas de diferentes filas.

En la Figura 5.2 se detalla el perfil de temperaturas con respecto al tiempo que duró la prueba.

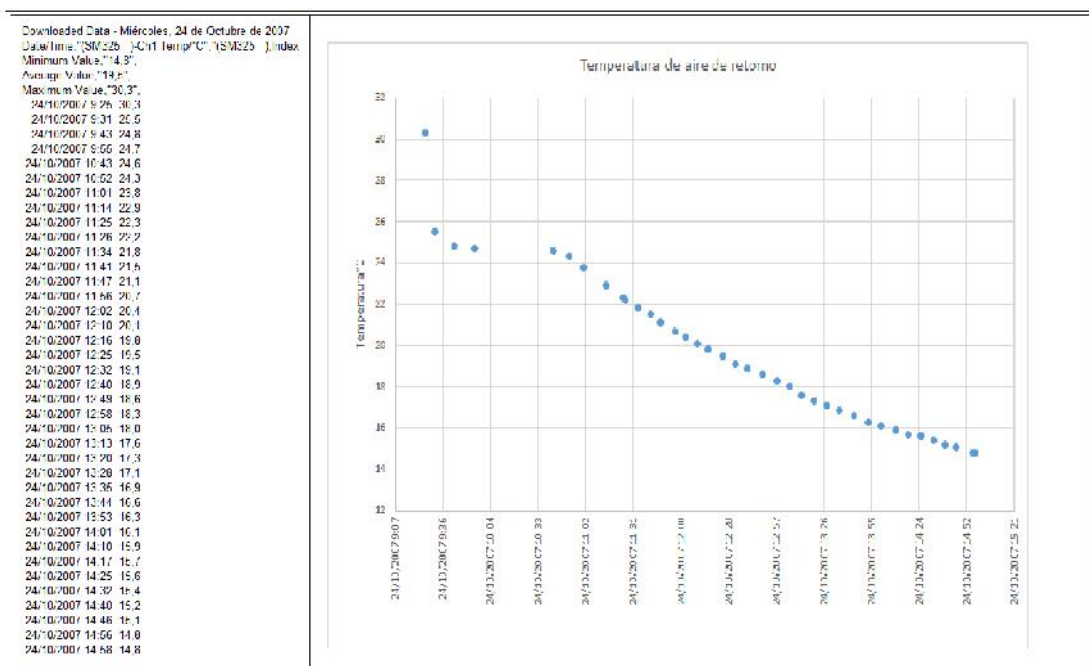


Figura 5.2 Datos de sensor de retorno y grafico (Temp. vs. Tiempo)

Luego de los primeros ajustes durante el arranque de la unidad, la temperatura del aire dentro del contenedor descendió de manera satisfactoria, alcanzando la temperatura de *set point* minutos antes de las 5 horas, lo que produce la para secuencial de los compresores de refrigeración.

A continuación se procedió a registrar la temperatura de la pulpa de la fruta. Los resultados se presentan en la Tabla 5.1 y Figura 5.3.

Tabla 5.1 Prueba de enfriamiento rápido en contenedor TRLU167791-9
(DEL AUTOR oct-2007)

TEMPERATURA DE PULPA DE LA FRUTA			
hora	Pallet #10 (centro)		
	fila8	fila5	fila 2
9:25	27,10	26,45	27,62
10:40	22,40	22,17	22,34
12:20	19,65	18,62	17,91
13:35	18,22	16,73	16,28
15:15	17,15	15,94	15,56

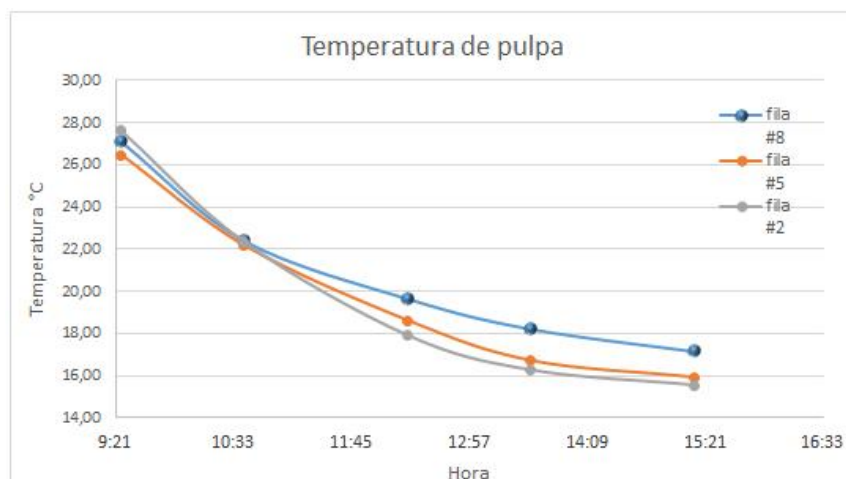


Figura 5.3 Temperatura de pulpa de la fruta

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS Y FACTIBILIDAD

6.1 RESULTADOS DE LA PRIMERA PRUEBA

Los resultados obtenidos en cuanto a la capacidad para enfriar el plátano verde (post cosecha) se cumplen, el prototipo con una capacidad de enfriamiento de 240.000 BTU/H es capaz de enfriar 20 toneladas de plátano (960 cajas) en 5 horas desde 27°C hasta 15°C. Los resultados muestran que la temperatura no es uniforme en todas las cajas, y esto se explica porque las cajas de las primeras filas reciben el flujo de aire con mayor diferencia de temperatura que las de la última fila; esto no representa ningún problema, porque luego con la unidad de enfriamiento del contenedor la temperatura se homogeniza. El resto de calor que se necesita remover para llegar a la temperatura de transporte (7.5°C), en posteriores pruebas se comprobó que el contenedor lo realiza en menos de 20 horas.

Así la fruta que hubiese tardado en promedio 120 horas para llegar a la temperatura de transporte, es enfriada en 25 horas; sin el estropeo de manipulaciones adicionales, ni pérdida de peso y textura por deshidratación, lo más importante prolonga la vida verde hasta por dos semanas adicionales (según departamento de calidad de EBNSA). Llegando a más mercados y con mejor precio.

6.2 APLICACIÓN

Para que la unidad pueda tener una aplicación generalizada, debe ser de fácil acoplamiento, inmediata disponibilidad y bajo costo.

En una plataforma de 40 pies, se deberían colocar 4 unidades y un generador que provea la energía necesaria para su funcionamiento.

La disposición debe ser de tal manera que se pueda acoplar con mangas extensibles a contenedores sobre chasis parqueándose de retro de dos en dos a cada lado de la plataforma de equipos.

Una sola plataforma con cuatro unidades de enfriamiento daría una capacidad de 8 contenedores por día.

Con la implementación de este sistema se podría programar diariamente los cortes de fruta lo que daría a cada plataforma la capacidad de pre-enfriar hasta 40 contenedores en una semana.

CAPÍTULO 7

ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 IMPLEMENTACIÓN

El costo estimado para producir una unidad móvil con capacidad de cuatro unidades de enfriamiento rápido se desglosa en la Tabla 7.1.

Tabla 3.1 Costo de componentes en \$USD

COMPONENTES DE UNIDAD MOVIL DE ENFRIAMIENTO RAPIDO				
Item	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Unidad de enfriamiento	4	\$ 28.000,00	\$ 112.000,00
2	Cabezal trailer 35TON	1	\$ 140.000,00	\$ 140.000,00
3	Plataforma 40 pies	1	\$ 16.000,00	\$ 16.000,00
4	Generador eléctrico diesel 150 KVA	1	\$ 36.000,00	\$ 36.000,00

La inversión necesaria para armar una unidad móvil con capacidad para enfriar cuatro contenedores a la vez es de \$ 304.000.

7.2 OPERACIÓN

La operación de la unidad móvil, requiere de un chofer profesional para el desplazamiento del equipo, y de un técnico con conocimientos de refrigeración y electricidad para que opere el generador y las unidades de enfriamiento, el costo anual de este personal incluyendo los beneficios sociales y el costo administrativo y logístico se detalla en la Tabla 7.2.

Tabla 7.2 Costo del personal

PERSONAL OPERATIVO				
Item	Descripción	Cantidad	Costo mensual	Costo anual
1	Chofer profesional	1	\$ 1.160,00	\$ 13.920,00
2	Técnico electromecánico	1	\$ 1.320,00	\$ 15.840,00

Los costos de combustible diésel del generador funcionando las cuatro unidades de enfriamiento se estima en 8 galones por hora; la expectativa de funcionamiento es de 2.500 horas al año que con el valor de \$1,10 por galón representa en rubro anual de \$22.000,00.

Para el caso del mantenimiento de todos los componentes de la unidad móvil, los valores se desglosan en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3 Costo del Mantenimiento

MANTENIMIENTO					
Item	Descripción	Cantidad	frecuencia	Costo unitario	Costo anual
1	Unidad de enfriamiento	4	c/2meses	\$ 150,00	\$ 3.600,00
2	Cabezal trailer 35TON	1	c/6000km	\$ 350,00	\$ 1.750,00
3	Plataforma 40 pies	1	c/30000km	\$ 480,00	\$ 480,00
4	Generador eléctrico diesel 150 KVA	1	c/250 horas	\$ 320,00	\$ 3.200,00

El costo anual del mantenimiento para la unidad móvil es de \$9.030,00.

7.3 COSTO FINANCIERO

Para implementar una unidad móvil se suman todos los rubros hasta ahora calculados (ver Tabla 7.4) donde se incluye la liquidez para el primer año de funcionamiento.

Tabla 7.4 Costo Financiero

Item	Descripción	Costo anual
1	Equipo	\$ 304.000,00
2	Personal	\$ 29.760,00
3	Combustible	\$ 22.000,00
4	Mantenimiento	\$ 9.030,00

El valor total corresponde a \$364.790,00 que obteniéndolo con un crédito en la banca privada con un 11% de interés anual pagadero a 60 meses, a continuación se calcula el costo del financiamiento y cuánto representa este valor por año.

$$C = C \cdot (1 + i)^n \quad (7)$$

Donde:

CF es el capital al final del enésimo período

$C/$ es el capital inicial

i es la tasa de interés expresada en porcentaje

n es el número de períodos

Utilizando la formula (7) para el cálculo del interés compuesto, se obtiene que el valor final a cancelar es de \$630.691,20, que dividido entre 5 años representa un valor anual de \$126.138,23.

7.4 DEPRECIACIÓN

La depreciación recomendada para este tipo de maquinaria es de 5 años, por lo que dividiendo el costo de la maquinaria para 5, el valor por año corresponde a: \$60.800,00

7.5 DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL SERVICIO

El costo estimado para enfriar un contenedor se determina, en el punto de equilibrio, que nos indica que Ingresos deben ser igual a la suma de los costos y gastos.

$$\text{Costo venta} \times \text{No unidades año} = \text{Costos fijos} + \text{Costos variables} \quad (8)$$

El costo de venta corresponde al número de contenedores que se proyecta enfriar en el año multiplicado por el costo del servicio.

Como se menciona en el análisis de factibilidad, es posible enfriar 40 contenedores por semana, y considerando 50 semanas de funcionamiento por año, se obtiene que se pueden enfriar 2.000 contenedores por año.

Tabla 7.5 Costos fijos y variables

Elemento	Costo fijo	Costo variable
Equipos	\$ 304.000,00	
Mano de obra	\$ 29.760,00	
Combustible		\$ 22.000,00
Mantenimiento		\$ 9.030,00
Financiamiento	\$ 126.138,23	
Depreciación	\$ 60.800,00	
TOTAL	\$ 520.698,23	\$ 31.030,00

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación (8) obtenemos el valor del servicio en el punto de equilibrio es de \$275,86.

Considerando un margen de utilidad de 20%, el costo de venta del servicio por cada contenedor sería de \$331,04 lo que implica un valor de \$0,34 por caja.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

Este proyecto nace de la necesidad de disminuir el número de contenedores rechazados principalmente por el mercado europeo, debido a la maduración temprana de la fruta. De acuerdo a los estudios de trazabilidad, se determinó que el 99% de los casos es por la demora en el tiempo de corte a frío.

Con el sistema propuesto, tan solo invirtiendo \$0,34 por caja en pre-enfriar el plátano, a más de reducir la cantidad de fruta que se rechaza en las empacadoras, y eliminar la posibilidad de rechazo del producto exportado, se puede lograr un mayor precio del producto en los mercados internacionales por la mejora en calidad, y la capacidad de negociación que ofrece el mayor tiempo en percha de la fruta. Tan cierto es esto que algo que nació como una propuesta inédita, al momento ya se oferta en otras partes del mundo para todo tipo de productos perecibles (Ver Apéndice 2)

Este sistema no se implementó en su momento porque se encontró en las nuevas tecnologías de la refrigeración un paliativo al problema, y este fue la implementación de compresores *scroll* en las unidades de refrigeración de los contenedores, lo que incrementó la capacidad de enfriamiento de las unidades en un 30% con una disminución en el consumo de energía, se pasó de un COP de 1.1 a 1.5. Estos equipos de refrigeración con compresores *scroll*, si bien disminuye el número de contenedores rechazados, no elimina

el problema, tampoco disminuye la pérdida de calidad por deshidratación ni se incrementa la vida verde de la fruta; lo cual sí se logra con la implementación del sistema propuesto en este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. MOISES SOTO BALLESTERO, Bananos conceptos básicos, Editorial Tecnológica de Costa Rica
2. HUNT ASHBY B. 1987, Protecting perishable foods during transport by truck. USDA handbook No. 669
3. BRYAN R. BECKER, PH.D. AND BRIAN A. FRICKE, Simulation of Moisture Loss and Heat Loads in Refrigerated Storage of Fruits and Vegetables
4. HARDENBURG, R.E., A.E. WATADA, The commercial storage of fruits, vegetables, and florist. USDA handbook No. 66
5. THOMSON, J.F., BRECHT, R.T. AND A.A. KADER. 2000, Marine container transport of chilled perishable produce. Publication 21595. Universite of California.
6. PROECUADOR, INSTITUTO DE PROMOCION DE EXPORTACIONES E INVERSIONES, Análisis sectorial, plátano 2015.
7. THOMAS MILLER, Carefully to carry, fresh fruit and vegetables, September 2006.
8. ASHRAE, HANDBOOK OF REFRIGERATION. SI VERSION, Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1994
9. K.H.S. PEIRIS, J.L. MALLON, AND S.J. KAYS, Respiratory Rate and Vital Heat of Some Specialty Vegetable al Various Storage Temperatures.

10. ARPN JOURNAL OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

2010, Thermal properties of Gross Michel Banana.

APENDICES

APÉNDICE A Datos de temperatura de suministro y retorno de prueba aleatoria

"Downloaded Data - Miércoles, 25 de Octubre de 2007"

Date/Time,"(SM325)-Ch1 Temp/°C","(SM325)-Ch2 Temp/°C", Index

"Minimum Value","12, 4","19, 0",

"Average Value","18, 5","22, 4",

"Maximum Value","31, 2","31, 4",

"24/10/2007 9:26:40","31,2","23,1",11

"24/10/2007 9:31:10","25,5","24,4",14

"24/10/2007 9:37:10","24,1","24,6",18

"24/10/2007 9:38:40","24,3","24,9",19

"24/10/2007 9:40:10","24,1","24,8",20

"24/10/2007 9:47:40","24,8","25,6",25

"24/10/2007 9:55:10","24,7","25,5",30

"24/10/2007 10:10:10","24,7","25,6",40

"24/10/2007 10:22:10","24,8","25,4",48

"24/10/2007 10:37:10","24,7","25,4",58

"24/10/2007 10:44:40","24,6","25,4",63

"24/10/2007 10:49:10","24,4","25,4",66

"24/10/2007 10:55:10","24,2","25,3",70

"24/10/2007 11:05:40", "23,5", "24,9", 77
"24/10/2007 11:14:40", "22,9", "24,8", 83
"24/10/2007 11:22:10", "22,6", "24,6", 88
"24/10/2007 11:29:40", "22,1", "24,4", 93
"24/10/2007 11:37:10", "21,7", "24,3", 98
"24/10/2007 11:46:10", "21,3", "24,1", 104
"24/10/2007 11:55:10", "20,8", "23,9", 110
"24/10/2007 12:05:40", "20,4", "23,7", 117
"24/10/2007 12:14:40", "19,9", "23,6", 123
"24/10/2007 12:23:40", "19,6", "23,4", 129
"24/10/2007 12:32:40", "19,1", "23,3", 135
"24/10/2007 12:41:40", "18,8", "23,1", 141
"24/10/2007 12:52:10", "18,4", "22,8", 148
"24/10/2007 13:01:10", "18,1", "22,8", 154
"24/10/2007 13:10:10", "17,7", "22,7", 160
"24/10/2007 13:19:10", "17,5", "22,5", 166
"24/10/2007 13:28:10", "17,1", "22,3", 172
"24/10/2007 13:38:40", "16,8", "22,2", 179
"24/10/2007 13:49:10", "16,5", "21,9", 186
"24/10/2007 13:58:10", "16,2", "21,8", 192
"24/10/2007 14:07:10", "15,9", "21,8", 198
"24/10/2007 14:14:40", "15,8", "21,6", 203

"24/10/2007 14:26:40", "15,6", "21,5", 211
"24/10/2007 14:37:10", "15,3", "21,3", 218
"24/10/2007 14:47:40", "15,0", "21,1", 225
"24/10/2007 14:58:10", "14,8", "21,0", 232
"24/10/2007 15:07:10", "14,6", "20,8", 238
"24/10/2007 15:17:40", "14,5", "20,7", 245
"24/10/2007 15:26:40", "14,3", "20,6", 251
"24/10/2007 15:35:40", "14,2", "20,6", 257
"24/10/2007 15:44:40", "14,0", "20,4", 263
"24/10/2007 16:02:40", "13,8", "20,1", 275
"24/10/2007 16:11:40", "13,6", "20,1", 281
"24/10/2007 16:20:40", "13,4", "20,0", 287
"24/10/2007 16:31:10", "13,3", "19,8", 294
"24/10/2007 16:40:10", "13,2", "19,8", 300
"24/10/2007 16:49:10", "13,1", "19,6", 306
"24/10/2007 16:58:10", "12,9", "19,6", 312
"24/10/2007 17:07:10", "12,9", "19,3", 318
"24/10/2007 17:17:40", "12,7", "19,3", 325
"24/10/2007 17:26:40", "12,6", "19,2", 331
"24/10/2007 17:37:10", "12,5", "19,0", 338
"24/10/2007 17:43:10", "12,5", "19,0", 342

APÉNDICE B

Catálogo de RCR refrigeración



Sistema de Pre-enfriado Móvil



Descripción

El Sistema de Pre-enfriado móvil le permite llevar la refrigeración hasta sus campos, así los productos en cosecha pasan prácticamente del campo o empaque al pre-enfriado, ahorrando tiempo y esfuerzo en la maniobra de carga y descarga del producto.

Con la misma calidad de diseño y fabricación de todos nuestros sistemas, el Sistema de Pre-enfriado Móvil ayuda a que su producto llegue al cliente en un tiempo record.

Fabricamos dos modelos: PMEE y PMEI.

Tiempo estimado de enfriamiento



PRODUCTO	TEMPERATURA ENTRADA PRODUCTO		TEMPERATURA FINAL PRODUCTO		TIEMPO DE ENFRIAMIENTO APROX (HRS)
	°F	°C	°F	°C	
AGUACATE	86	30	41	5	6
BELL PEPPERS	86	30	50	10	3
BERENJENAS	86	30	50	10	3
CALABAZAS	85	29	41	5	6
CHILES	86	30	42	6	5
GUAYABAS	90	32	41	5	6
LIMONES	95	35	46	8	4
MANGOS	90	32	50	10	4
MELONES	85	29	42	5	6
NARANJAS	90	32	40	4	6
PAPAYAS	90	32	50	10	4
PEPINOS	85	29	45	7	5
PLÁTANOS (VERDES)	85	29	56	13	3
SANDÍAS	90	32	50	10	4
TOMATES	85	29	50	10	4

SISTEMA PMEE