


A Dios, mi esposa, mis padres y familia.

BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Vo. Bo. :

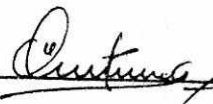
(f)

  
\_\_\_\_\_

Ing. Oscar Erasmio Taracena Gil  
Asesor

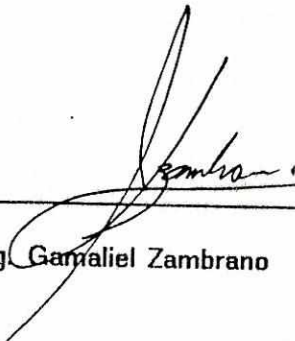
Tribunal:

(f)

  
\_\_\_\_\_

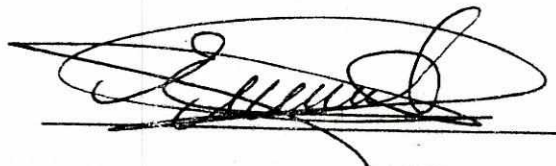
Ing. Oscar Erasmio Taracena Gil

(f)

  
\_\_\_\_\_

Ing. Gamaliel Zambrano

(f)

  
\_\_\_\_\_

Ing. Eduardo Calderón

Fecha de aprobación 3 de abril de 1997

## INDICE

RESUMEN	i
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	
A. Procesamiento y llenado aséptico de jugos de fruta	2
1. Tipos de envasado	6
2. Esterilización del equipo	9
3. Factores que limitan la calidad de los jugos	12
4. Principales deterioros de los jugos	17
B. Refrigeración	21
1. Selección de equipo	26
2. Sistemas de compresión de vapor	28
C. Torres de enfriamiento	32
III. JUSTIFICACIÓN	43
IV. OBJETIVOS	44
V. PROBLEMA A RESOLVER	45
VI. METODOLOGÍA	46
VII. RESULTADOS	48
VIII. DISCUSIÓN	50
IX. CONCLUSIONES	54
X. RECOMENDACIONES	55
XI. BIBLIOGRAFÍA	56
ANEXO	
A. Cálculos	58
B. Símbolos	65
C. Diagramas	66
D. Figuras	68

## RESUMEN

Una industria de alimentos donde se envasan néctares en envase Tetra-Brik, cuenta con el problema de envasar el producto a temperatura muy elevada ( $35^{\circ}\text{C}$ ), dando problemas en su producción y afectando la calidad del producto. Para solucionar estos problemas se necesita envasar el producto a  $23^{\circ}\text{C}$ .

Este trabajo se realizó con el fin de solucionar el problema actual, para optimizar la producción y manufacturar un producto de mejor calidad.

Para llevar a cabo este proyecto se estudió el sistema de agua de enfriamiento actual, se calculó la cantidad de calor que actualmente se remueve y se llegó a la conclusión de que existen dos problemas principales:

1. El sistema de agua de enfriamiento por compresión de vapor, que está instalado en la planta, no es suficiente para enfriar toda el agua de las distintas áreas de producción, pero sí es capaz de enfriar por separado cada flujo de agua de cada área por separado.

Por lo anterior, se diseñó un sistema de agua de enfriamiento por compresión de vapor (3 compresores de 11.2KW), para suplir la necesidad de agua de enfriamiento en el área Tetra-Pak., y esto puedan funcionar todas las áreas de producción a la vez.

2. En el área donde envasan néctares en envase Tetra-Brik, el tamaño del intercambiador de calor en la sección de enfriamiento no es el adecuado, ya que el actual únicamente remueve 320722.464kJ/h, aproximadamente la mitad del calor que se necesita remover( 577301.645 kJ/h ), para poder envasar los nectares a la temperatura requerida de  $23^{\circ}\text{C}$ .

Tomando en cuenta el equipo auxiliar que enfríe el agua y el tamaño adecuado del intercambiador en la sección de enfriamiento, se presentan dos alternativas:

a) Si se utiliza como equipo auxiliar una torre de enfriamiento de tiro inducido modelo 453, la cual enfría el agua a  $18^{\circ}\text{C}$ , se requiere en la sección de enfriamiento un intercambiador con área de  $6.89\text{ m}^2$ .

b) Si se utiliza como equipo auxiliar el sistema de agua de enfriamiento por compresión de vapor que se diseñó en este trabajo, él cual enfría el agua a  $5^{\circ}\text{C}$ , se necesita en la sección de enfriamiento un intercambiador con área de  $3.26\text{ m}^2$ .

En este trabajo se considera la primera alternativa, ya que la torre de tiro inducido está en la planta. No hay que comprar equipo auxiliar como sería en la segunda alternativa.

También se considera que el intercambiador en la sección de enfriamiento, es mejor si se coloca el de mayor área, ya que así se puede utilizar agua de enfriamiento de los dos equipos auxiliares por cualquier eventualidad.

El sistema de agua de enfriamiento por compresión de vapor se diseñó, por sí en un futuro, la demanda de agua de enfriamiento crece en la planta y habrá que comprar el equipo.

## I. INTRODUCCION

Actualmente una industria procesadora de alimentos afronta el problema de envasar asépticamente néctares de fruta en envase Tetra-Brik a una temperatura superior a los 20 °C que es la recomendada, aproximadamente los llenan a 35 °C, debido a la deficiencia del sistema de aguas de enfriamiento, que fue improvisado.

Por lo anterior, se realiza el presente trabajo que consiste en el diseño de un equipo de refrigeración de agua por compresión de vapor, para poder envasar los néctares a la temperatura recomendada, para lograr un producto de mejor calidad, en el que no se alteren sus propiedades organolépticas, evitar riesgos en el sellado del envase Tetra-Brik, disminuir el reproceso y aumentar la vida de anaquel del producto.

Debido a esto es indispensable contar con un equipo de aguas de refrigeración que tenga la capacidad para enfriar el producto antes de envasarlo, a la temperatura recomendada.

El método parte del cálculo de la capacidad del sistema actual de aguas de refrigeración, para demostrar que no se da abasto. Luego se rediseñó el intercambiador de calor en la sección de enfriamiento, ya sea si se usa un equipo de refrigeración por compresión de vapor para aguas de enfriamiento o en su lugar, se utiliza agua de enfriamiento de una torre modelo 453, ya existente, para poder llenar a la temperatura requerida, los néctares en envase Tetra-Brik.

El diseño del sistema de aguas de enfriamiento, consiste en hacer uso de los principios de refrigeración por compresión de vapor con un sistema mecánico, en el que hay que calcular la capacidad de un compresor, flujo de refrigerante freon 22, flujo de agua en el condensador y flujo de agua en el evaporador, la que es enfriada por una torre de agua de enfriamiento de tiro inducido modelo 221-21, ya existente.

## II. ANTECEDENTES

### A. Procesamiento y llenado aséptico de jugos de frutas.

Entre los objetivos principales que persigue una planta procesadora de alimentos, destacan:

- a) Obtener un producto con un alto grado de calidad (manteniendo dicha calidad por un período largo de tiempo).
- b) Poder distribuir estos productos de tal manera que estén disponibles al mayor número de consumidores y durante toda la época del año.

Mediante el uso de técnicas de procesamiento y llenado asépticos, se pueden producir jugos de fruta con un alto estándar de calidad, manteniendo dichos estándares por un período prolongado de tiempo y haciéndolos a su vez disponibles durante toda la época del año. El procesamiento y llenado aséptico implica las siguientes condiciones:

- a) Esterilización del producto.
- b) Esterilización del material de envase.
- c) Un ambiente estéril durante el envasado.
- d) La producción de unidades perfectamente selladas para prevenir una infección.

La palabra esterilización, implica un término absoluto, el cual supone la destrucción de todos los microorganismos vivientes, no importando el volumen que se maneja, ni la cantidad de estos.

Debido a que la acción de destrucción microbiana, ya sea por tratamientos térmicos o químicos se comporta de manera logarítmica, el objetivo que pretende alcanzar la esterilidad no podrá ser alcanzada teóricamente. El uso de métodos destructivos para el control de la esterilidad, hace extremadamente difícil poder evaluar los resultados

desde el punto de vista práctico. Por tanto, se ha introducido un nuevo término, el cual es más realista(1).

### **Esterilidad comercial**

La esterilidad comercial de un alimento es la condición que se alcanza por la aplicación de calor, el cual nos da como resultado un alimento libre de microorganismos de significancia para la salud pública (patógenos), así como de aquellos microorganismos que aunque carezcan de significancia para la salud pública sean capaces de reproducirse en alimento a las condiciones de almacenamiento y distribución (tiempo y temperatura)(1).

Si nos basamos en los valores de pH que presentan los alimentos, los podemos dividir en dos grandes grupos:

Alimentos de alta acidez

Alimentos de baja acidez

De acuerdo a la definición de la FDA ( Food and Drugs Administration) un alimento de alta acidez debe contar con un valor de pH de 4.6 ó menor. Por lo tanto los jugos de fruta, las bebidas de fruta y las bebidas no carbonatadas se consideran como alimentos de alta acidez(2).

La gran mayoría de los jugos que se pueden encontrar en el mercado, son jugos reconstituidos, los que se obtienen de concentrados de fruta a los cuales se les ha agregado cierta cantidad de agua, tratando de obtener un producto final con las características organolépticas y analíticas del jugo original(1).

La reconstitución de los jugos, es una tecnología perfectamente establecida, la cual incluye los siguientes pasos:

- La adición de agua al concentrado.
- Una agitación de la mezcla.
- Deaireación del jugo.
- Tratamiento térmico.

(1)

La calidad del agua utilizada para la dilución del concentrado juega un papel predominante en la calidad del producto terminado. Al mismo tiempo se deberá evitar la incorporación de aire a la mezcla durante el reproceso y se hace necesario a la utilización de un deaerador el cual disminuya el contenido de  $O_2$  en el jugo y consecuentemente el nivel y velocidad de las reacciones oxidativas en el jugo ( las cuales varían de acuerdo al tipo de jugo)(1).

Para prevenir en cierta medida estos **problemas**, algunos productores utilizan agua **deareada** al diluir el concentrado. Cabe señalar que durante el proceso de deaireación, no sólo se disminuye el contenido de  $O_2$ , sino que también influye en la disminución de ciertos componentes aromáticos, los cuales sí son deseables en este tipo de productos(1).

El método más socorrido para la preservación de los jugos, es sin lugar a dudas el tratamiento térmico.

Los objetivos que persigue este tratamiento térmico es:

- a) La eliminación de los microorganismos (para alcanzar la esterilidad comercial).
- b) La inactivación del sistema enzimático.

La combinación tiempo/temperatura requerida para inactivar las enzimas y destruir los microorganismos, depende en gran medida del pH del jugo a tratar. A



continuación se muestran dos cuadros con los parámetros de tiempo/temperatura requeridas para:

Inactivación de sistemas de enzimas tales como la pectinasterasa:

TIEMPO	pH	TEMPERATURA
15 segundos	2.4	74°C
15 segundos	3.2	89°C
15 segundos	3.3	90°C
15 segundos	3.8	94°C

Inactivación de microorganismos a una temperatura dada:

pH	TIEMPO
5.5	100 segundos
4.4	10 segundos
3.5	1 segundo

La decisión de utilizar el parámetro correcto de tiempo/temperatura, debe basarse en la experiencia y en el tipo de producto que se este procesando, así como de las condiciones de proceso en cuestión(1).

Los microorganismos más comunes son los productos de alta acidez, son aquellos pertenecientes a la familia de los *Lactobacillus*, hongos y levaduras. Estos microorganismos, son sensibles al calor y pueden eliminarse a relativamente bajas

temperaturas. La inactivación de las enzimas en productos de alta acidez, generalmente requiriendo un tratamiento más severo en comparación con las temperaturas para la destrucción térmica. En aquellos productos con valores de pH entre los productos de alta y baja acidez (p. ej. jugo de tomate), el organismo que causa mayores daños al producto es el que forma esporas. En este caso, la eliminación de los microorganismos requiere un tratamiento térmico más severo que aquel para la inactivación de enzimas(2).

### **1. Tipos de envasado.**

**Envasado normal:** Los jugos preparados y pasteurizados, envasados en frío por este sistema, tienen una vida de anaquel limitada, aproximadamente 14 días y deben mantenerse en refrigeración. Por razón de la permeabilidad al oxígeno de los materiales de envasado corriente, la vitamina C se descompone en ellos de manera relativamente rápida, incluso con almacenaje y distribución en frío(1).

**Llenado en caliente:** El producto se prepara y calienta en la forma habitual, pero se introduce caliente en los recipientes, haciéndose necesario el enfriado tanto del contenedor (envase), como del contenido (jugo). La carga de calor del producto, deberá cubrir los siguientes parámetros:

- Esterilización (comercial) del producto.
- Dominio de cualquier reinfeción microbiológica en el curso del llenado.
- Esterilización del material de envase.

Cuando llega al recipiente, el producto debe estar a una temperatura de 60-75 °C como mínimo (temperatura de llenado), para que quede asegurada la esterilización adecuada del recipiente para su comercialización(1).

Ventajas del llenado en caliente:

- A temperaturas elevadas, la solubilidad del oxígeno se encuentra reducida, y con la parte superior del recipiente abierta durante el llenado, se ejerce un efecto de eliminación del aire del producto (en botellas).
- El tratamiento relativamente severo puede conducir a la inactividad definitiva de las enzimas presentes.

Desventajas del llenado en caliente:

- La lentitud relativa del enfriamiento del producto y del recipiente, conlleva el riesgo de alterar el sabor del producto.
- Las elevadas temperaturas pueden dificultar aún más los problemas eventuales de interacción entre el material de envase y producto.
- La recuperación de energía es limitada, elevando el consumo de la misma.

**Envasado aséptico:** Este tipo de envasado, involucra los siguientes conceptos:

- Esterilización continua del producto.
- Transferencia aséptica desde el equipo de proceso hasta la máquina envasadora (tuberías, tanques asépticos, etc.).
- Esterilización del material de envase.
- Ambiente estéril durante el envasado.
- Envase herméticamente sellado.

Como ya se ha mencionado anteriormente, los parámetros de proceso (tiempo/temperatura) están íntimamente relacionados con el pH del producto, pero en general podemos mencionar una temperatura entre los 89 - 95 °C y un tiempo de retención de aprox. 15 a 20 segundos, haciéndose necesario un enfriamiento del producto pasteurizado a la temperatura recomendada de envasado (aprox. 20 °C)(1).

### Esterilización del material de envase.

El material de envase que se utiliza en las máquinas envasadoras Tetra Brik Aseptic, se entrega en forma de rollo o bobina. Este material de envase viaja a través de la máquina (corriente arriba) para llegar a un baño de peróxido en donde el material de envase se someterá a la acción de un desinfectante (en este caso peróxido de hidrógeno al 35%)(1).

En el caso de las máquinas TBA/3 el desinfectante en cuestión únicamente actuará en la superficie del material de envase que estará en contacto con el alimento, mientras que para la TBA/8 y TBA/9 el contacto del  $H_2O_2$  será con todo el material de envase (por la diferencia entre el baño de peróxido en estas máquinas)(1).

Después del citado baño de peróxido, un par de rodillos escurridores remueven la mayor parte del líquido esterilizante, dejando así una muy delgada capa de líquido en la superficie del material de envase. De aquí, el material de envase comienza su camino hacia la parte inferior de la máquina con la ayuda de un bender roller. A partir de este momento, se comienza a formar un tubo de material de envase(1).

El producto a envasar, entra por el llamado tubo de llenado, el cual se encuentra ubicado inmediatamente después de que el tubo de material de envase ha sido llenado longitudinalmente, creando así una sección cerrada. En un viaje corriente abajo, el tubo de material de envase pasa a la sección en donde se encuentra el elemento calentador de tubo, el cual rodea al tubo de llenado. Este elemento calentador, opera a temperaturas entre los  $400\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , haciéndose que la temperatura que se alcanza en la parte interna del material de envase (laminación interna) sea de entre  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1).

Mediante este efecto térmico se logran dos objetivos:

a) Un efecto de esterilización químico / térmica del material de envase por aumento de la temperatura, lo cuál provoca una descomposición de la capa de peróxido de hidrógeno, por la formación de gases de peróxido de hidrógeno y oxígeno.

b) La remoción del peróxido de hidrógeno del material de envase, por efecto de la evaporación y/o rompimiento del esterilizante en vapor de agua y oxígeno.

Gracias a que en esta sección se encuentra el tubo cerrado y la corriente del aire caliente conteniendo peróxido de hidrógeno, se previene una reinfección a partir del medio ambiente(1).

La salida del tubo de llenado se encuentra por debajo del nivel del producto que se intenta envasar, el cual está regulado por un flotador.

El llamado sellado transversal, se realiza por debajo del nivel del líquido a envasar. De aquí el envase propiamente sellado, pasa a la plegadora final, donde se lleva a cabo el doblado y sellado de los picos del envase, para de aquí pasar a una banda transportadora y someterse al proceso de embalaje(1).

### **Creación de un ambiente estéril durante el llenado y formación de los envases.**

Para proveer de un medio ambiente estéril mientras se llenan y forman los envases, es necesario resolver dos problemas:

- a) La eliminación de todas las potenciales fuentes de contaminación de la línea aséptica, por medio de la esterilización del equipo.
- b) Mantener dichas condiciones de esterilidad durante toda la producción.

## **2. Esterilización del equipo.**

La única manera de alcanzar una esterilización satisfactoria es cuando las superficies del equipo(s) que se intenten esterilizar, hayan alcanzado una limpieza

satisfactoria. En el caso de las máquinas envasadoras, existe una serie de parámetros los cuales deben cubrirse para asegurar una buena limpieza y sanitización(1).

La esterilización final del equipo, se alcanza por la aplicación de un tratamiento térmico.

En el caso de las máquinas envasadoras, un sistema programado garantiza una adecuada esterilización de la máquina envasadora.

### **Mantenimiento de las condiciones estériles.**

En la zona del tubo calentador, no sólo se alcanza la esterilización final del material de envase, sino que al mismo tiempo se mantiene la condición de esterilidad mientras se llenan y forman los envases. Para lograr ese objetivo, se cuenta tanto con una continua evaporación del peróxido de hidrógeno, así como con el efecto térmico que provoca el elemento calentador de tubo. De aquí que el tener una máquina en paro por un período largo de tiempo implique un riesgo, ya que al no admitirse peróxido de hidrógeno en el área de formación del tubo, no se alcanzan los objetivos antes mencionados(1).

### **Producción de unidades suficientemente selladas para prevenir una recontaminación.**

El buen sellado de los envases producidos puede verse afectado por:

- a) El sellado transversal y longitudinal.
- b) El material de envase.
- c) El manejo de los envases producidos.

En este punto es necesario insistir en la importancia de los ajustes, mantenimientos y servicios con los que se provea a la máquina envasadora para su perfecto desarrollo(1)..

Es muy importante disminuir la temperatura del producto antes de proceder al envasado, para evitar problemas durante el mismo. Entre estos se podrían mencionar:

- Fallas en los sellados longitudinales y transversales, debido a las fluctuaciones de temperatura, lo que ocasiona que el operador tenga que supervisar con mayor frecuencia estos sellados.
- Fallas en la corrección de diseño, lo cual ocasiona merma de material de envase.
- Fallas en la plegadora final, ya que el sistema de enfriamiento de las mandíbulas no cumple satisfactoriamente con su objetivo, lo que implica merma de producto y material de envase, pérdida de tiempo, etc.
- Problemas en el equipo de embalaje (como atascamientos), lo que ocasiona merma de producto y pérdida de tiempo.

En cuanto al aspecto microbiológico, no se ve afectada la calidad final del producto, siempre y cuando se alcance la temperatura de esterilización y se mantenga esta por el tiempo necesario (cabe recordar que el sistema debe estar libre de fugas que provoquen recontaminación del producto), lo que sí puede suceder al envasar a temperaturas tan altas, es una alteración de las características físico-químicas del producto (cambio de sabor, color, etc.). En cuanto a interacciones entre el material de envase y el producto, realmente no se ha cuantificado el riesgo que este ocasiona(1).

### 3. Factores que limitan la calidad de los jugos.

En general podemos decir que la calidad del producto terminado, puede verse afectado principalmente por dos causas:

Crecimiento microbiológico ocasiona Descomposición

Act. enzimática ocasiona Deterioro  
Reacciones químicas

#### Principales microorganismos que ocasionan descomposición en jugos

- Mohos
- Levaduras
- Bacterias

#### MOHOS

Los mohos (con raras excepciones) requieren gran cantidad de oxígeno para su desarrollo. Debido a la estructura del material de envase, esta ofrece una buena barrera para el oxígeno, haciendo su penetración muy limitada. Como consecuencia, una contaminación debido a mohos nos indica alguna fuga en el envase(2).

Los mohos exhiben algunas características de las plantas mayores. Están hechos por multicelulas, filamentos tubulares. Demuestran bifurcaciones y se reproducen por medio de cuerpos que dan fruto, llamados esporas, los cuales son llevados en estructuras aereas. Sus micelias o entrelazados filamentos pueden parecer raíces. Los mohos muchas veces son más largos que las bacterias y algo más que las levaduras. Están muy



distribuidos en la naturaleza, en la tierra, en el polvo y son llevados por el aire. Bajo condiciones adecuadas de humedad, aereación, y temperatura, los mohos crecerán en cualquier alimento. La coloración negra o verde que aparece en cualquier pan, es una evidencia familiar de que el moho está creciendo(2).

Los mohos son capaces de consumir ácidos. Crecen en alimentos que ocasionalmente removieron las condiciones ácidas. Esto inhibe el crecimiento del *Clostridium botulinum*, un alimento venenoso para el organismo(2).

Los mohos descomponen los alimentos en contenedores cerrados. Procesados es raro pero no imposible. Muchos mohos poseen pequeña resistencia al calor y no sobreviven los procesos térmicos de alimentos de baja acidez envasados. Por eso, ellos pueden estar presentes solamente como resultado de una recaudación después del proceso o una post contaminación del proceso. Ya que el organismo necesita oxígeno para crecer, solamente un ligero crecimiento puede ocurrir si el envase de alimento está abierto afuera al medio ambiente(2).

*Byssochlamys fulva* está implicada en la descomposición de algunas bebidas de frutas y productos a base de fruta enlatados. Estos mohos como capaces de soportar los tratamietos térmicos usados para preservar estos productos por su habilidad de formar esporas, las cuales sobreviven a condiciones adversas. La resistencia al calor de las formas de espora de estos mohos, ocasionan que puedan sobrevivir más de un minuto a 92°C (198°F) en ácido o alimentos ácidos. Siempre, para llegar a este grado de resistencia, el organismo necesita varios días para madurar y producir las esporas resistentes al calor. Por ello, la sanitización diaria del equipo y cajas de carga para el producto crudo es extremadamente importante en el control del crecimiento de estos organismos, previniendo el desarrollo de las esporas resistentes. Mohos creciendo en procesos térmicos de alimentos no presentan problemas de sanidad pública significante(2).

## LEVADURAS

Las levaduras son más frecuentemente los organismos causantes de la descomposición de los jugos. La descomposición de alimentos de elevado grado de acidez, causada por el desarrollo de fermentos, se combina generalmente con una importante formación de gas, en particular cuando el aporte de oxígeno es limitado. Las levaduras producen fermentaciones alcohólicas, con la producción de etanol y anhídrido carbónico a partir de azúcares(2).

Otro microorganismo de importancia en la preservación de los alimentos, son las levaduras. Las levaduras son cuerpos unicelulares microscópicos vivientes, usualmente con forma de huevo. Son tan pequeños como los mohos, pero más largos en tamaño que las bacterias. Su mayor su mayor espesor es de 1/4000 de centímetro. La reproducción de las levaduras ocurre principalmente por gemación. Una pequeña yema se forma en la célula levadura madre y gradualmente se va alargando en otra célula de levadura. Algunas variedades pueden formar esporas con células especiales; luego estas esporas pueden crecer en nuevas células de levaduras(2).

Las levaduras se encuentran mucho en la naturaleza y son particularmente asociadas con alimentos líquidos que contienen azúcar y ácidos. Ellas son totalmente adaptables a las condiciones adversas como la acidez y la deshidratación. Al igual que los mohos, las levaduras son más tolerantes al frío que al calor. Comparadas con las esporas de las bacterias, las levaduras poseen poca resistencia al calor. La mayoría de las levaduras son destruidas con calentamiento de 77°C(170°F). La descomposición puede resultar de las levaduras en la comida enlatada, esto es, si hay demasiadas durante el proceso o hay una filtración. Usualmente, el crecimiento de levaduras va acompañado

de la producción de alcohol en grandes cantidades y dióxido de carbono en gas, lo cual infla el envase(2).

El crecimiento de levaduras durante un procesamiento de alimentos no presenta problema significativo de salud pública(2).

## **BACTERIAS**

**Lactobacilos:** Los lactobacilos descomponen los azúcares. Algunas bacterias, en particular las del género *Leuconostoc* producen un depósito gomoso en los jugos. Los daños causados por el lactobacilos son reflejo normalmente de una insuficiente limpieza y esterilización del equipo de proceso o máquina envasadora(1).

Las bacterias son los microorganismos más importantes y las problemáticas de todos ellos para el procesador de alimentos. Muchas bacterias por sí mismas son inofensivas, pero excretan enzimas que pueden producir cambios indeseables en los alimentos, y en algunos casos los microorganismos pueden producir sustancias venenosas(2).

Las bacterias son cuerpos vivientes de células simples muy pequeños. Individualmente ellos pueden verse con la ayuda de un microscopio potente. Las células de bacterias varían de espesor de  $1/50000$  a  $1/2500$  de centímetro(2).

Vistas al microscopio, las bacterias aparecen en diversas formas y figuras. Las más importantes en la descomposición de alimentos procesados, son algunos en forma redonda, llamados cocos, o en forma de bastón, llamados simplemente, bastoncillos(2).

### **Condiciones que afectan el crecimiento de bacterias**

El conocimiento de los requerimientos de crecimiento de cada grupo de bacterias, provee las repuestas para su control y eliminación.

### **Requerimientos de alimentos**

La presencia de un suplemento de alimento satisfactorio, es la condición más importante que afecta el crecimiento de las bacterias. Todas las células de plantas y animales requieren de ciertos nutrientes para multiplicarse. Esto incluye soluciones de azúcar, y otros carbohidratos, proteínas, y pequeñas cantidades de otros materiales como fosfatos, cloruros, y calcio(2).

### **Requerimientos de Oxígeno**

Algunas bacterias requieren oxígeno para poseer la capacidad de sobrevivir a éstas se le denomina aeróbeas. Para otras, al contrario una pequeña cantidad de oxígeno impide el desarrollo y crecimiento de las mismas. Estas son denominadas anaeróbeas. La mayoría de las bacterias son aeróbeas estrictas o anaeróbeas, pero pueden tolerar un rango ya sea de presencia o abstinencia de oxígeno. A estas últimas, se les conoce como anaeróbeas facultativas(2).

### **Requerimientos de temperatura**

Para cada especie bacteriana, existe un rango óptimo o favorable de temperatura para su crecimiento y desarrollo. Temperaturas superiores o inferiores a la temperatura óptima afectan negativamente el crecimiento y desarrollo de cada especie. Dependiendo del rango de temperatura en el que se desarrolla, cada especie recibe su nombre:

### **Grupo Psicotrópico**

Entre este grupo se encuentran las bacterias que poseen su mayor capacidad de crecimiento a un rango temperatura entre 4 a 20 °C (39 a 68 °F), pudiendo llegar a sobrevivir a temperaturas de 4°C (40 °F). Ninguna de este grupo de bacterias, excepto el *Clostridium botulinum* tipo E y las cadenas no proteolíticas del tipo B y F, son importantes en alimentos enlatados(2).

### **Grupo Mesofílico**

Este grupo tiene su mayor capacidad de crecimiento en el rango de temperatura de 30 a 37 °C (86 a 98 °F). Este es el rango normal de temperatura normal en una bodega. Todos los microorganismos que pueden afectar la integridad de los alimentos crecen y se desarrollan dentro de este rango de temperatura. Los organismos formadores de esporas, *C. botulinum*, son miembros de este grupo(2).

### **Grupo Termofílico**

Son bacterias que crecen y se desarrollan a temperaturas altas. Muchas de estas bacterias forman esporas y están divididas en dos grupos. Esta división está basada en el rango de temperatura al cual germinan y crecen las bacterias. Si las esporas no germinan y crecen a una temperatura de 50°C (122°F) se les denomina termofílica obligada, por lo que necesitan temperaturas altas para crecer. Si el crecimiento ocurre entre las temperaturas de 50 a 66 °C (122 a 150°F) y a temperaturas inferiores, es decir de 38 °C (100°F) este tipo de bacterias son llamadas facultativas, lo que quiere decir que tienen la habilidad de crecer y desarrollarse en ambos rangos de temperatura(2).

Algunas de las bacterias termofílicas, obligadas pueden crecer a temperatura hasta de 77 °C (170°F). En pruebas de laboratorio se ha podido comprobar que las esporas de estas bacterias son tan resistentes al calor, que pueden sobrevivir hasta 60 minutos o más a temperaturas de 212°C (250°F). Las bacterias termofílicas no producen veneno en su proceso de esporulación en la comida, así como no afectan la seguridad de los alimentos(2).

#### **4. Principales deterioros de los jugos:**

- Alteraciones de color (oscurecimiento)
- Alteración de sabor
- Degradación de la vitamina C

**Alteraciones de color:** Pueden aparecer coloraciones parduzcas en los jugos de frutas con la formación de compuestos pigmentados. El obscurecimiento, acompaña diversas reacciones orgánicas. En conjunto, la naturaleza exacta de las sustancias oscuras es aún desconocida. Generalmente, en el caso de almacenamiento prolongado de los jugos a temperatura ambiente o por arriba de ella, se forman sustancias oscuras solubles al agua. Estas se descubren con facilidad en los jugos claros (manzana), pero también se les puede notar en aquellos jugos con proporción elevada de pigmentos (naranja, tomate, etc.)(1).

El obscurecimiento de los jugos puede ser causado por una actividad enzimática. La oxidasa polifenol cataliza la oxidación de los compuestos fenolados susceptibles de formar pigmentos marrones o marrón rojizo(1).

El obscurecimiento de los alimentos se debe a menudo a la reacción de Maillard (reacción entre un aminoácido y un azúcar reductor). Esta reacción no necesita de la presencia de oxígeno. Se piensa ahora que otras reacciones en las que entra el ácido antiescorbútico u otros elementos constituyentes, juegan un papel importante en las reacciones enzimáticas(1).

**Alteraciones del sabor:** Para satisfacer al consumidor, es de máxima importancia que los jugos de fruta conserven su sabor característico durante el período de almacenaje. Las alteraciones de sabor pueden causar serios problemas sobre todo en jugos agrios(1).

Los aceites esenciales, son un extracto obtenido a partir de las cáscaras de los cítricos. Estos aceites esenciales, pueden añadirse en pequeñas dosis al concentrado, en la líneas de tratamiento de la fruta o en el curso de la reconstitución en la misma planta. Las alteraciones del sabor durante el período de almacenamiento, se deben a una pérdida de estos aceites esenciales (disminución del sabor característico o reacciones químicas entre los elementos constitutivos de los aceites (1).

**Degradación de la vitamina C:** La vitamina C puede descomponerse por una reacción oxidante. La enzima oxidasa ácido antiescorbútico acelera la reacción dando como resultado una desaparición rápida de la vitamina C(1).

Se puede contener la acción de esta enzima por medio de la exclusión del oxígeno molecular del jugo, por tratamiento térmico inhibiendo la actividad de la enzima o por la adición de agentes inhibidores(1).

La congelación de jugos de fruta fresca o jugo de concentrado, conserva la proporción de vitaminas por largo período.

Sin embargo, si el jugo está expuesto al oxígeno atmosférico antes de congelarse, pueden sobrevivir pérdidas no despreciables, incluso en el curso del almacenaje en frío.

Los jugos de fruta almacenados a temperatura elevada, pierden gran parte de su vitamina C durante períodos largos de almacenamiento. Cuanto más elevada es la temperatura, más rápida es la pérdida(1).

Respecto al control de calidad y al chequeo que se lleva a cabo durante el procesamiento de los jugos, este depende del producto que se trate (Jugo claro, turbio, diluido ó concentrado)(1).

El muestreo recomendado por Tetra Pak, se basa en la distribución de Poisson. Un muestreo de 50 unidades, tomadas por máquina envasadora y turno de producción, corresponde aproximadamente al 0.1% de la producción, en donde se puede detectar con una probabilidad del 99% un nivel de inesterilidad de un 9%. Con un 90% de probabilidad, el nivel de contaminación queda entre un 3-4%.

El hecho de no encontrar envases inestériles en 50-60 muestras, puede solamente significar que el nivel de inesterilidad en la producción, con un 99% de probabilidad, es inferior al 95, nada más.

Para detectar niveles bajos de inesterilidad, el tamaño de muestras tomadas al azar debe ser lo más elevado posible.

Una incubación de las muestras entre un mínimo de 7 días hasta 12 días, es recomendable para dar a un ocasionalmente muy reducido número de microorganismos,

la oportunidad de multiplicarse hasta un nivel detectable. La temperatura recomendada oscila entre los 20-30 °C para el tipo de microorganismos que se espera encontrar en jugos, siendo normalmente 25 °C la más utilizada.

Después del tiempo de incubación, se evalúan los envases tanto organolépticamente ( color, sabor, olor, consistencia, turbidez ) como microbiológicamente.

Una técnica rápida y fácil del chequeo microbiológico del producto, implica las siguientes acciones: los envases son acomodados en filas y se someten a desinfección en su parte superior. Acto seguido, mediante la ayuda de una navaja o exacto previamente flameado, se procede a abrir el envase de su parte superior (en el lado contrario a donde se tiene el sellado longitudinal, para poder evaluarlo en el caso de inesterilidad).

Después, con una asa de 0.01 ml. se toma una muestra del producto, la cual se estra en forma de una simple línea dentro de una caja Petri estéril con agar para la determinación de levaduras (Wort agar, ó agar suero de naranja), incubándose durante un mínimo de 5 días a una temperatura de 24°C(1).



## B. Refrigeración

La refrigeración mecánica es el proceso mediante el cual se reduce la temperatura de una sustancia tras debajo de la que prevalece en su ambiente. La industria de procesos químicos es uno de los usuarios más importantes de las instalaciones de refrigeración. Los grandes usuarios típicos de la refrigeración en este campo realizan procesos como la elaboración de hule sintético y textiles, refrigerantes, cloro, plásticos, fluoruro de hidrógeno, intermedios de naftaleno, tinturas, tereftalato de dimetilo, acrílo nitrilo y caprolactama(4).

**Principios básicos.** La refrigeración se basa primordialmente en dos principios básicos conocidos como la primera y segunda leyes de la Termodinámica. La primera de ellas establece que la energía no se crea ni se destruye. Si desaparece energía en una forma, debe reaparecer en otra, es decir, no puede aparecer energía en una manifestación, sin que se registre una reducción correspondiente en otra de sus formas. La segunda ley indica que ningún sistema puede recibir calor a una temperatura dada y rechazarlo o emitirlo a una temperatura superior, sin que el medio que lo rodea efectúe un trabajo en el mismo. El calor fluye siempre del cuerpo más caliente al más frío. Si se toman en cuenta las consideraciones de esta ley, el ciclo de refrigeración ideal será el inverso del llamado ciclo de Carnot. El coeficiente de eficiencia o rendimiento C.D.E. (correspondiente a las siglas inglesas C.O.P. ) de un ciclo de Carnot depende de las temperaturas a las que se agrega o rechaza calor. Por tanto,

$$\text{C.D.E.} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad (\text{Ecuación 0})$$

en donde  $T_1$  = temperatura del evaporador, absoluta

$T_2$  = temperatura de condensador, absoluta (4).

En un ciclo de refrigeración real, la reversibilidad no existe y, tras ende, se registrarán pérdidas que harán que el C.D.E., sea menor que el ciclo ideal.

**Definiciones.** Una tonelada de refrigeración es la que se produce al derretir una tonelada de hielo a la temperatura de 32 °F en 24 horas. Se trata de un índice de eliminación de calor que equivale a suprimir 12000 Btu/h o 200 Btu/min.

La *unidad térmica británica*, o Btu, es el calor necesario para producir un aumento de temperatura de 1 °F en lb de agua.

Los líquidos con puntos de ebullición bajos, sirven como refrigerantes en la refrigeración mecánica. Los que cambian de líquido a gas después de absorber calor se conocen como *refrigerantes primarios*. La salmuera, el aire y el agua actúan sólo como portadores de calor y se clasifican como *refrigerantes secundarios*. En la tabla 1 se presenta la lista de la composición química de varios refrigerantes junto con sus designaciones numéricas(4).

### **Refrigerantes**

Se han desarrollado varios refrigerantes que permiten efectuar una selección óptima para una aplicación específica. Entre los factores importantes se incluyen los 1) químicos, termodinámicos y las propiedades físicas, 2) la capacidad de sistema requerida, 3) el tipo de compresor, 4) el nivel de temperatura deseado y 5) las consideraciones de seguridad(4).

Los hidrocarburos halogenados se usan predominantemente tanto para servicios de aire acondicionado, como de baja temperatura. Las ventajas principales son las propiedades que los caracterizan de no ser inflamables, explosivos y tóxicos. Por lo tanto, estos refrigerantes han sustituido en gran parte a los que se empleaban con anterioridad, como el cloruro de metilo, el dióxido de carbono, el dióxido de azufre, el propano, el propileno y el etileno. El amoníaco R-717 tiene aplicaciones en trabajos a bajas temperaturas con compresores recíprocos o movimiento alterno, y cuando la toxicidad elevada no constituye un factor crítico(4).

Entre las propiedades sobresalientes de un refrigerante se mencionan:

**Temperatura y presión de ebullición.** Conviene mantener una presión superior a la atmosférica a fin de evitar la filtración de aire y humedad al sistema. En consecuencia, el punto de ebullición del refrigerante, debe ser menor que el nivel de temperatura del sistema deseado(4).

**Temperatura de congelación.** El refrigerante seleccionado, debe tener una temperatura de congelación muy por debajo de la temperatura mínima de operación del sistema(4).

**Temperatura y presión críticas.** La presión y temperatura de operación del sistema deben ser inferiores a los valores críticos. La temperatura crítica es aquella por encima de la cual ninguna cantidad de presión licuará un gas específico. Arriba de la condición crítica, las fases líquida y gaseosa tienen propiedades idénticas(4).

**Presiones del condensador y del evaporador.** La presión del condensador debe ser lo suficientemente baja para permitir el uso de equipos más o menos ligeros. Cuanto mayor sea la presión de operación del sistema, tanto mayor el costo del equipo y la tubería. La presión del evaporador no debe ser demasiado baja, ya que con ello aumenta en forma anormal la razón de compresión(4).

**Volumen específico.** Esta propiedad se relaciona directamente con el tamaño del compresor cuando se multiplica por el gasto masa. Es conveniente tener volúmenes de succión reducidos para compresores recíprocos y volúmenes de succión elevados para compresores centrífugos. Los compresores recíprocos emplean caso siempre R-12, R-22, R-500, R-502, R-13, y R- 717. Los compresores centrífugos son adaptables para R-11, R-12, R-114, R-113 y, en tonelajes muy grandes, para R-22(4).

**Calor latente.** El calor latente elevado de evaporación es importante, ya que afecta la magnitud del efecto refrigerante, la cantidad de refrigerante circulado, y el tamaño y el costo de la tubería auxiliar, así como del equipo. No obstante, no se debe tomar en

cuenta por sí sólo, sino en combinación con otras propiedades como el volumen específico del vapor y el calor específico del líquido(4).

**Calor específico del líquido.** Conviene tener un volumen bajo, de otra manera se necesitará un enfriamiento demasiado marcado para el líquido caliente que llega al evaporador(4).

**Peso molecular.** Esta propiedad se relaciona en forma directa con el volumen específico del vapor. Cuanto mayor sea el peso molecular, tanto más grande será el volumen específico. Para aplicaciones de compresores centrífugos que requieren grandes cantidades de gas, el refrigerante se debe caracterizar por un gran peso molecular(4).

**Potencia teórica por tonelada.** A niveles de aire acondicionado, este valor es más o menos el mismo para la mayoría de los refrigerantes; pero adquiere una importancia particular a temperaturas más bajas(4).

**Temperatura de descarga.** Los refrigerantes que tienen temperaturas de descarga de compresor relativamente elevadas, manifiestan cierta tendencia a provocar la separación del aceite y a producir lodos. Por ejemplo, el R-502 permite una temperatura de descarga mucho más baja para compresores recíprocos, que el R-22(4).

**Miscibilidad.** La miscibilidad constituye una ayuda para el retorno del aceite del evaporador al compresor, cuando se trata de aplicaciones de vaivén, minimizando con ello este tipo de problemas. El R-12 y el R-500 son altamente miscibles, el R-22 y el R-502 lo son en menor grado y el R-717 no se mezcla con el aceite(4).

**Aspectos de seguridad.** Los refrigerantes se agrupan según su toxicidad e inflamabilidad. Los hidrocarburos halogenados, como R-12, R-22, R-502 y R13, fueron clasificados por la A.S.A., estándar B9.1, como grupo 1. El grupo 1 es el que encierra menos peligros asociados con la inflamabilidad y la explosividad, y posee mínima toxicidad. El peligro aumenta al incrementarse el número del grupo. El R-717, cloruro de metilo y el dióxido de azufre son refrigerantes del grupo 2 y son tóxicos o inflamables, o bien, ambas cosas. Los refrigerantes del grupo 3 son muy inflamables y

explosivos, e incluyen el propano, el propileno, el etileno, el etano, el butano y el isobutano(4).

**Otras propiedades favorables.** Además de las antes mencionadas, el refrigerante debe ser también estable y no corrosivo, y poseer una gran conductividad térmica y poca viscosidad. Conviene tener también un costo bajo por libra, pero esta consideración rara vez desempeña un papel importante en la evaluación final de los refrigerantes disponibles hoy en día en el comercio.

En los años recientes se ha observado un interés cada vez mayor en las mezclas refrigerantes de azeótropos. El azeótropo es una mezcla, casi siempre de dos compuestos, que se comportan físicamente como si se tratara de una sola sustancia pura, R-500, que es un azeótropo del R-12 y R-152 a, caracterizado por una razón de composición de 73.8 a 26.2% en peso respectivamente. Se ha empleado en compresores recíprocos para prestar una capacidad entre R12 y R22. Un azeótropo más reciente, el R502, se desarrolló para compresores recíprocos, sobre todo para aplicaciones a temperaturas bajas comprendidas entre 0 y -20 °F. Se trata de una mezcla de R-22 y R-115 en la razón de 48.5 a 51.2% en peso. Una unidad recíproca existente R-22, que opera dentro de esta gama, aumenta de capacidad entre el 4 y 15 % cargándola con R-502(4).



## 1. Selección de equipo

No hay un refrigerante universal que se pueda usar en todas las aplicaciones. Lo mismo puede decirse respecto de la selección del tipo de equipo de refrigeración para un trabajo de enfriamiento determinado.

Entre las muchas variables que se deben estudiar están 1) la carga de refrigeración, 2) el nivel de temperatura al que el fluido del proceso debe enfriarse, 3) la fuente de energía para activar la unidad de refrigeración, 4) la cantidad disponible y la temperatura de los medios de condensación, y 5) el espacio(4).

En ocasiones, más de un tipo de equipo puede ser técnicamente apropiado. Por tanto, es necesario efectuar la selección basándose en consideraciones prácticas como el tamaño de la unidad o la capacidad disponible, la inversión y los costos de operación, la flexibilidad de funcionamiento, los gastos de mantenimiento y la seguridad(4).

El equipo de vaivén o movimiento alterno tiene sus aplicaciones más generalizadas hasta 150 ton de capacidad, a los niveles de acondicionamiento de aire. No obstante, los compresores recíprocos se caracterizan por costos de mantenimiento más elevados y necesitan de más espacio por tonelada, poniéndolos en desventaja con los tamaños de mayores dimensiones(4).

Las máquinas centrífugas casi siempre son unidades de gran capacidad, entre 150 y 8500 toneladas. Los costos de mantenimiento son menores que para las máquinas de vaivén y su seguridad es aceptable(4).

Las unidades de absorción tienen muchas aplicaciones de enfriamiento de agua cuando se dispone de vapor a baja presión y costo reducido. Las capacidades varían de 100 a 1200 ton en una unidad cuando se trata de enfriar agua a una gama comprendida entre 45 y 50 °F. La desventaja principal es la dificultad para mantener un sistema aislado con el bromuro de litio tan corrosivo y un vacío de 0.2 pulg. de Hg absoluta en el evaporador y el absorbedor(4).

Las unidades de chorro de vapor, también se utilizan en aplicaciones de enfriamiento de agua, normalmente en la gama de 50 a 1500 ton por máquina. Estas ofrecen inversiones y costos de mantenimiento reducidos, sobre todo si se usa un condensador barométrico. Este es particularmente adecuado para aplicaciones de temperaturas de salida de agua fría más o menos elevadas, en donde se dispone de un exceso de vapor a 100 lb/pulg<sup>2</sup> de presión manométrica, aproximadamente, y cuando se tiene también agua de condensación más o menos fría. Las desventajas principales son el tamaño físico y los altos requisitos de vapor y agua(4).

## 2. Sistemas de compresión de vapor

**Ciclo de refrigeración de una sola etapa.** En la figura 1 se ilustra el ciclo de refrigeración básico que se utiliza para compresión de vapor de una sola etapa. Los cuatro componentes básicos del sistema son el compresor, el condensador, la válvula de expansión y el evaporador: El ciclo comprende dos presiones, una alta y otra baja, que permiten desarrollar un proceso continuo para producir un efecto de enfriamiento(4).

Conforme el refrigerante líquido fluye por el evaporador, el calor se absorbe un fluido en vías de enfriamiento y el refrigerante hierve a consecuencia de ello. Luego el vapor a baja presión se comprime y los niveles de presión y temperatura se elevan a un punto en el que el vapor supercalentado se condensa utilizando el medio de enfriamiento disponible. Al comprimir el gas, el calor de compresión se agrega al vapor, al aumentar la presión. Luego, el vapor pasa al condensador en donde el gas se licúa. A continuación, el refrigerante líquido fluye de éste a una válvula de expansión en donde su presión y su temperatura se reducen a las que prevalecen en el evaporador y, con ello, el ciclo queda completo(4).

Los ciclos de refrigeración se analizan más fácilmente, aplicando un diagrama de Mollier o por medio de una gráfica de presión-entalpía. En la figura 3 se representa un diagrama típico de P-h para R-12, con un ciclo de refrigeración representativo indicado. Cuando se realiza un trabajo o se transfiere calor, el refrigerante sufre un cambio de entalpía. La curva de la izquierda del diagrama es la línea del líquido saturado y la de la derecha es la línea del vapor saturado. En el área comprendida entre estas curvas de saturación, el refrigerante existe en forma de una mezcla de líquido y vapor. Todos los puntos que quedan a la derecha de la línea de vapor saturado, representan las condiciones del vapor sobrecalentado. Los que quedan a la izquierda de la línea de saturación del líquido, representan al refrigerante en la fase líquida, a una temperatura inferior a la de saturación para la presión existente. Esta área se conoce como región de subenfriamiento. La evaporación y la condensación se considera como procesos de



presión constante, de modo que se representan mediante líneas horizontales en el diagrama P-h. Desde el punto de vista ideal, la compresión de un gas es un proceso isoentrópico (de entropía constante) que presupone la inexistencia de pérdida de calor y la ausencia de fricción. Las líneas de entropía constante, se incluyen en el diagrama en la zona de sobrecalentamiento y se designa como "compresión"(4).

El ciclo teórico se inicia en el punto *A*, en donde el líquido saturado proveniente del condensador entra en la válvula de expansión. El paso del refrigerante por una válvula de expansión es un proceso de estrangulación sin que se genere un cambio de entalpía, de manera que una línea vertical trazada de *A* a *B* representa dicho proceso. Conforme el refrigerante líquido se expande a la presión del evaporador, parte del mismo se condensa y enfría al resto del líquido a la temperatura del evaporador. Después de absorber calor del fluido que se está enfriando en el evaporador, el vapor del refrigerante sale del serpentín o la bobina en el punto *E* y entra al compresor(4).

Luego, el gas se comprime de una presión baja a una presión elevada, pasando isoentrópicamente de *E* a *F*. Dentro del condensador, el gas sobrecalentado pierde inicialmente parte del sobrecalentamiento pasando de *F* a *G*, hasta que se llega una vez más a la curva de vapor saturado, que representa el instante en que principia la condensación. Ésta ocurre siguiendo la línea *GA*. En el punto *A*, el vapor se ha transformado por completo en líquido y con esto concluye el ciclo teórico de una sola etapa(4).

El cálculo de las condiciones del ciclo se comprenderá con mayor facilidad si se utiliza el diagrama P-h.

El efecto refrigerante neto logrado en el evaporador es:

$$E.R. = h_g - h_f \quad (\text{Ecuación 1})$$

en donde E.R. = efecto refrigerante en Btu / lb

$h_g$  = entalpía del vapor que sale del evaporador en Btu/lb

$h_f$  = entalpía del líquido que sale del condensador en Btu/lb.

Los subíndices  $g$  y  $f$  son nomenclatura estándar y simbolizan, respectivamente, las corrientes de gas y fluido, y no se refieren a la figura 3, en donde los puntos E y A son respectivamente análogos(4).

El *peso del refrigerante circulado* por tonelada de capacidad, se determina mediante la siguiente expresión;

$$\text{Gasto en peso, lb}/(\text{min})(\text{ton}) = \frac{200 \text{ Btu}/(\text{min})(\text{ton})}{\text{E.R., Btu}/\text{lb}} \quad (\text{Ecuación 2})(4).$$

El *volumen teórico de vapor* que se va a manejar por tonelada es

$$\text{C.F.M.}/\text{ton} = \text{gasto en peso} * V_g \quad (\text{Ecuación 3})$$

en donde  $V_g$  = volumen específico del vapor de succión que penetra en el compresor en,  $\text{pie}^3/\text{lb}(4)$ .

El *calor de compresión* es la diferencia de entalpía entre la descarga  $h_d$  y las condiciones del gas en la entrada del compresor,  $h_g$ , es decir, los puntos F y E, respectivamente, de la figura 3(4).

$$\text{Calor de compresión} = h_d - h_g \text{ Btu}/\text{lb.} \quad (\text{Ecuación 4})$$

El *trabajo de compresión* por tonelada se determina multiplicando el calor de compresión por el gasto en peso, o sea,

$$\text{Trabajo de compresión, Btu} / (\text{min})(\text{ton}) = (h_d - h_g) * \text{gasto en peso} \quad (\text{Ecuación 5})(4).$$

El *trabajo* requerido normalmente se expresa como potencia en hp por tonelada.

Puesto que 1 hp es igual que 42.4 Btu/min,

$$\text{Hp / ton} = \frac{\text{trabajo de compresión, Btu/min}}{42.4 \text{ Btu / min}} \quad (\text{Ecuación 6})(4).$$

La carga calórica del condensador se determina restando la entalpía del líquido saturado que sale del condensador, de la entalpía del vapor sobrecalentado que entra al condensador, o sea,

$$\text{Carga calórica del condensador, Btu/lb} = h_d - h_g \quad (\text{Ecuación 7})(4).$$

Nótese también que la carga calórica del condensador es igual que el efecto refrigerante más el calor de compresión(4).

El *coeficiente de eficiencia* del ciclo se define como la razón de la refrigeración producida al trabajo suministrado, cada uno de los cuales se expresa en las mismas unidades térmicas(4).

$$\text{C.D.E.} = \frac{\text{efecto refrigerante neto, Btu/lb}}{\text{calor de compresión, Btu/lb}} \quad (\text{Ecuación 8})(4).$$

## C. Torres de enfriamiento

El crecimiento de la población y el de la industria, precisan tanto del suministro de agua, que es necesaria en alguna forma de conservación. Esto se aplica en especial al agua utilizada para enfriamiento. Gracias a que los sistemas de recirculación con torres de enfriamiento disipan el calor con mínima pérdida de agua, su importancia es cada vez mayor en lugares en donde el suministro de agua está limitado, tiene costo muy alto o los reglamentos locales exigen su conservación. Se utilizan intercambiadores de calor enfriados por aire cuando el agua escasea o no se dispone de ella.

En la ejecución de sus funciones primarias, los sistemas de generación, procesos y refrigeración producen calor de desecho, el cual se debe expulsar del sistema primario a un sistema secundario que lo elimine físicamente hacia un disipador de calor, ya sea que funcione con aire o con agua, en donde se elimina dicho calor. Este circuito secundario se suele llamar sistema de enfriamiento, pero existen muchos tipos fundamentales del enfriamiento por evaporación, los tipos principales de torres y el mantenimiento. Todo ello se trata en este capítulo.

### Enfriamiento por evaporación

La transpiración ayuda a mantener frescos a los seres humanos, por evaporación; mantiene su temperatura normal a  $36.8^{\circ}\text{C}$  aunque la temperatura ambiente sea mucho más alta. El calor latente de evaporación es el efecto enfriador primario producido al soplar aire sobre superficies mojadas o através de capas de agua en descenso en una torre de enfriamiento. Los fabricantes de torres de enfriamiento, hacen referencia al calor sensible como si fuera temperatura. Cuanto mayor es la temperatura de una sustancia, mayor es su calor sensible. Cuando la temperatura ambiente es menor que la temperatura del agua, existe la tendencia (sin considerar la evaporación) a que el aire enfríe el agua; es decir, que el aire se ponga más caliente (gane calor sensible) y el agua

se enfríe (pérdida calor sensible). En promedio, aproximadamente 75% del total de calor eliminado es por evaporación (calor latente).

### **Por que se recicla el agua de enfriamiento en vez de desperdiciarla**

Un problema grande en la operación de plantas de refrigeración o de turbinas con condensación, es eliminar y disipar el calor de refrigerante comprimido o del vapor de escape. Por lo general, se transfiere calor al agua, en un intercambiador de calor. Desde allí se puede disipar en diversas formas. Si la planta está cerca del mar, un río o lago, se pueden entubar la admisión y la descarga para evitar que el agua caliente de descarga se mezcle con el agua fría de admisión. Si la fuente de agua de enfriamiento es un pozo o la red urbana, la descarga se puede devolver con tuberías al suelo o enviar a un drenaje o un canal abierto. Pero este desperdicio de agua caliente es costoso y está prohibido en muchos lugares. La razón principal para aprovechar el agua de enfriamiento es que pocas plantas tienen un suministro ilimitado de agua. Otra consideración, es el costo del uso de agua de la red urbana para enfriamiento.

Si todas las aguas contienen sales disueltas, el uso de un suministro continuo de agua "cruda" produce incrustaciones muy pronto en el intercambiador de calor. Para evitar este problema, se utiliza una torre de enfriamiento, en la cual se enfría el agua al exponerla al aire después de cada pasada o ciclo y se puede reciclar muchas veces.

### **Enfriamiento atmosférico del agua**

Si se transfiere la carga de calor de desecho del agua a la atmósfera, se puede aprovechar la misma agua en un ciclo continuo. El agua se transfiere al poner el agua y el aire en contacto indirecto, como se hace en el radiador de un automóvil. En otro método se utiliza equipo para enfriamiento evaporativo, tal como un estanque atmosférico para aspersión o una torre de enfriamiento. Cuando el agua se enfría mediante las pérdidas por evaporación, se pierden alrededor de 1000 Btu por cada libra de agua evaporada. El calor arrastrado en el vapor de agua se llama calor latente de

vaporización. Cuando el aire elimina el calor del vapor de agua, puede enfriar el agua a menos de la temperatura atmosférica. Esto permite que el agua enfriada por evaporación sirva para plantas que tienen necesidad de temperaturas variables. También permite que una cantidad pequeña enfríe una carga de calor mucho más grande que si no se hubiera enfriado menos de la temperatura atmosférica.

### **Cómo se puede acelerar el efecto de enfriamiento en una torre de enfriamiento.**

El efecto de enfriamiento se puede acelerar: 1) con el aumento de la velocidad del aire sobre las superficies mojadas; 2) aumento de la superficie mojada expuesta; 3) reducción de la presión barométrica; 4) aumento de la temperatura del agua que va a la torre; 5) reducción de la humedad del aire.

### **Propiedades del aire que deben tener en cuenta los diseñadores de torres de enfriamiento**

Los diseñadores y constructores de torres de enfriamiento deben tener en cuenta la temperatura de bulbo húmedo, la temperatura de bulbo seco, calor en Btu, presión, peso, y velocidad del aire.

### **Gama de enfriamiento**

Gama de enfriamiento son grados a los que se enfría el agua con el equipo de enfriamiento. Es diferencia en temperatura entre el agua caliente que entra a la torre de enfriamiento y la temperatura de agua fría en la salida.

### **Temperatura de acercamiento**

El acercamiento es la diferencia de grados entre la temperatura del agua fría que sale de la torre de enfriamiento y la temperatura de bulbo húmedo del aire en el ambiente.

### **Carga de calor**

La carga de calor es la cantidad de calor que disipa la torre de enfriamiento en Btu por hora (o minuto). Es igual al número de libras de agua circulada multiplicado por la gama de enfriamiento.

### **Brisado**

El brisado es la pequeña cantidad de agua sin vaporizar que se pierde en el equipo de enfriamiento atmosférico de agua en forma de neblina. Es el agua arrastrada por el aire en circulación. Dicho de otra forma, el brisado es la pérdida de agua, independientemente del agua perdida por evaporación. La pérdida por brisado, al contrario de la pérdida por evaporación, se puede reducir con una torre de enfriamiento de la construcción adecuada.

### **Adición de agua**

Es el agua necesaria para reemplazar la que se pierde por evaporación, brisado, purga y pequeñas fugas. Las pérdidas por evaporación, en promedio, son de 0.80% del agua circulada por cada gama de 10°F.

La pérdida de brisado del agua arrastrada en forma de niebla o gótitas por el aire; en una torre de circulación inducida del tipo correcto, la pérdida por brisado es de alrededor de 0.10%. La mayoría de los fabricantes garantizan una pérdida por brisado de no más de 0.20%. La cantidad de agua de purga desperdiciada, depende de la dureza del agua de circulación, el tratamiento de agua utilizado y la pérdida por brisado. La purga se controla así y se mantiene la concentración de sólidos solubles y formadores de incrustaciones a menos del punto en que se forman incrustaciones o hay corrosión.

### **Algunas de las limitaciones de las torres de enfriamiento**

El agua que se enfría por aspersión en el aire no se puede enfriar a menos de la temperatura de bulbo húmedo del aire. Por tanto, la temperatura de condensación a

la cual funcionará el sistema, se debe mantener un poco más allá que la temperatura de bulbo húmedo del aire. Las torres de enfriamiento de alta eficiencia, de tiro forzado o inducido, enfriarán el agua condensada a un punto con una diferencia de entre 5 y 80 °F de la temperatura de bulbo húmedo prevaleciente. Las torres de tiro natural rara vez llegan a acercarse más de 10 o 12 °F a la temperatura de bulbo húmedo del aire. Por ello, al seleccionar una torre de enfriamiento, es conveniente aumentar en 5% la temperatura de bulbo húmedo de diseño.

### **Torre de enfriamiento de corriente mecánica**

Véase la figura 1.0 La torre de enfriamiento de corriente mecánica es un cuerpo vertical de madera, metal, transite o de albañilería. El agua se distribuye cerca de la parte superior del cuerpo o casco y cae a un estanque recolector. Cuando cae, pasa a través del aire que se hace circular de la parte inferior a la parte superior del cuerpo con ventiladores de circulación forzada ó circulación inducida. El aire hace contacto con el agua que está más caliente justo antes de que salga de la torre. Como el aire pasa a contracorriente, una cantidad de aire capta más calor de la que atraparía una cantidad igual de aire en una torre de tiro natural. Por tanto, se necesita menos aire para enfriar la misma cantidad de agua. Como los ventiladores suministran el aire, su cantidad se puede mantener al mínimo para bajar los costos de operación.

Una torre de enfriamiento de circulación mecánica, se puede llenar con gótitas de agua rociadas desde las boquillas o se puede empacar con un relleno de madera, contra el cual el agua baja en cascada por la torre. Otras torres de enfriamiento combinan algunas de las características de los tipos llenos con rocío y con relleno de madera.

En los tipos llenos con rocío, el área que enfría el aire a la superficie combinada de las gótitas de agua están presentes en la torre en cualquier momento. El área de la sección transversal neta, libre de los espacios de aire en una torre llena con rocío, suele ser mayor que la de una torre con relleno de madera de la misma superficie bruta. Por ello, hay menores velocidades de aire y un tiempo de contacto más largo entre el aire y el



agua, siendo la estructura del mismo tamaño, en una torre llena con rocío. Antes de descargar a la atmósfera, el aire de escape cargado con agua pasa por un eliminador de brisado que elimina las gótitas de agua.

En la torre con relleno de madera, las tablas se colocan horizontales y verticales en toda la torre. La madera rociada sobre la capa superior de tablas por las boquillas, canales o cabezas aspersoras, cae de capa en capa. Cuando el aire se mueve hacia arriba o a través de la torre, choca con una superficie mojada grande, desintegra en forma repetida el agua que cae y produce nuevas superficies para las gótitas. Las áreas combinadas de estas gótitas, son varias veces mayores que el área con relleno de madera.

La eficiencia de estas torres se mejora al aumentar el relleno de madera, la altura o superficie de la torre o la cantidad de aire suministrado. Si se aumenta la altura de la torre, se acrecienta el tiempo en que el aire está en contacto con el agua, sin necesidad de ventiladores más potentes. Si se aumenta el área de la torre y se mantiene constante la potencia de los ventiladores, se aumenta la cantidad de aire y el tiempo de contacto de aire y agua, gracias a la baja velocidad. En ambos casos, se aumenta la superficie de agua que está en contacto con el aire.

Si se aumenta la cantidad de aire, se reduce el tiempo en que el aire está en contacto con el agua. Pero, como pasa más aire por la torre, aumenta la distancia promedio entre la temperatura del agua y la temperatura de bulbo húmedo del aire. Esto aumenta la rapidez de transferencia de calor. Para tener más aire, se precisa de un aumento en la potencia del ventilador. Las velocidades del aire en las torres con relleno de madera varían entre 250 y 400 pies/min. Como estas torres no dependen de la velocidad del viento, se pueden construir para tener mejor rendimiento. Requieren menos espacio y tuberías que las torres de enfriamiento atmosférico. Las columnas de bombeo varían entre 11 y 26 pies. El ahorro general en la planta, gracias a la temperatura más baja del agua utilizada con las torres de relleno de madera, suele contrarrestar su costo adicional de operación y su costo inicial, más elevados.

### Principio de torre de tiro forzado

- Véase la figura 1.0. Una torre de enfriamiento de tiro forzado trabaja bien con aguas corrosivas, pues el ventilador puede estar cerca del suelo y las piezas más susceptibles a la corrosión están accesibles con facilidad para servicio. Sin embargo, los costos de mantenimiento del ventilador y la depreciación de estas torres son elevados.

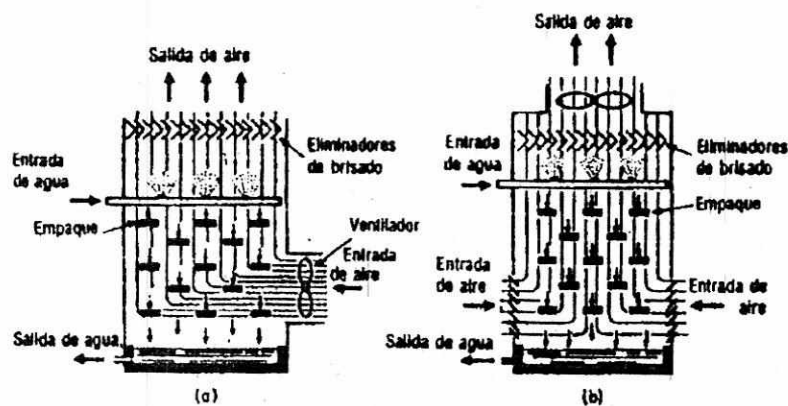


FIGURA 1.0 Las torres de circulación mecánica tienen ventiladores de circulación a) forzada ó b) circulación inducida.

El objetivo de estas torres es hacer que el aire caliente salga por la parte alta de la torre a baja velocidad. Pero, a veces, el aire recircula a la entrada del ventilador, con vientos, desfavorables y puede reducir la eficiencia hasta 20%. En tiempo muy frío, la recirculación puede ocasionar formaciones de hielo en el equipo y edificios cercanos o en el anillo para el ventilador en la torre, y se han dado casos de roturas del ventilador.

Puesto que el tamaño del ventilador en estas torres está limitado a 12 pies o menos de diámetro, se necesitan más ventiladores, motores, arrancadores y alambrado en las torres grandes que en una torre de circulación inducida del mismo tamaño. En éstas, se pueden usar ventiladores hasta de 18 pies de diámetro. Pero las torres de circulación forzada tienen un aspecto más estético y son más adaptables para fines

arquitectónicos. Si se instala el ventilador en la parte superior de la torre, se minimiza el ruido.

#### **Torre de enfriamiento de circulación inducida, de contracorriente.**

Véase la figura 1.0. En una torre de enfriamiento de circulación inducida, de contracorriente, el ventilador está montado en la parte superior. El movimiento del aire es vertical, ascendente a alta velocidad, a través del relleno, para evitar la recirculación. Si la torre va a manejar cargas pequeñas, el ventilador se monta en un costado para dar circulación transversal.

#### **Torre de enfriamiento de circulación inducida transversal.**

Las exigencias de un tamaño compacto, mejor construcción, menor costo, mayor capacidad, funcionamiento más adaptable y mayor rendimiento general, dieron por resultado la torre de enfriamiento de doble circulación o circulación transversal. También se llama torre de circulación común. La circulación de aire es horizontal y los ventiladores están centrados en la parte superior. Cada ventilador succiona aire a través de dos celdas acopladas con una cámara de succión, que tiene una división a la mitad debajo del ventilador. Está provista de eliminadores de brisado, para invertir el paso de aire hacia arriba, en dirección a la salida del ventilador. Las torres de doble circulación tienen columnas bajas de bombeo, que pueden variar entre 11 y 26 pies.

Las ventajas funcionales de las torres de enfriamiento de circulación transversal son, a saber: 1) movimiento horizontal de aire conforme el agua cae en cascada de góttas sobre el relleno y a través de la corriente de aire, lo cual produce menos resistencia a la circulación de aire y por tanto, menor pérdida de circulación; 2) el recorrido del aire es más largo que en tipo convencional; 3) el estanque abierto para distribución de agua es más accesible para limpiarlo durante el funcionamiento; 4) las tablillas y cubierta difusora con menor espacio debajo del estanque, producen distribución uniforme de agua para el relleno de madera; 5) la carga de agua en la

mayoría de las torres de enfriamiento, tiene un máximo de 6 galones/min pie<sup>2</sup>, ocasionada por un efecto de aspersión de colchón. En las torres de circulación transversal, es posible una carga más pesada: hasta de 10 galones/min pie<sup>2</sup> para servicio de condensación de vapor; 6) las torres modernas de circulación transversal ocupan menos de 1/20 del espacio necesario para un estanque de rocío con servicio equivalente.

## **OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

### **Arranque inicial de una torre de enfriamiento**

Antes del arranque inicial de una torre de enfriamiento, se limpia y examina. Se elimina toda la basura del estanque receptor. Se revisa si el ventilador tiene tornillos flojos. Ha de comprobarse que el ventilador gire libremente y que el claro entre las puntas de las aspas y el cilindro del ventilador esté correcto. Todos los tornillos en el árbol de impulsión del ventilador deben estar en su lugar; los acoplamientos flexibles y uniones (junta) universales han de estar en buenas condiciones. Los protectores para el árbol deben estar firmes. Se comprueba la alineación del reductor de velocidad, árbol propulsor y motor. Cerciórese de que estén lubricados. Se abre el respiradero en la parte superior del reductor de velocidad y se aprietan todos los tornillos. No los apriete demasiado porque se romperá la madera cuando se hinche. Se examinan las boquillas, canalones, tuberías y juntas de expansión en las paredes y piso del depósito de concreto. Debe examinarse la válvula de flotador para agua de adición y comprobarse que el rebosadero esté abierto.

### **Formación de algas en las torres de enfriamiento**

Las algas son un crecimiento verdoso, lamoso, que obstruye las boquillas e impide la distribución correcta del agua en el relleno de la torre. Se acumula en el equipo alimentado por la torre y reduce la transferencia de calor. Para evitar las algas o

minimizarlas, agregue un poco de cloro, sulfato de cobre, permanganato de potasio u otros productos químicos al agua de circulación. Algunas formas de vida vegetal se vuelven resistentes a estos productos químicos y, a veces, es necesario recurrir a un especialista.

### **Cómo se evitan las incrustaciones en las torres de enfriamiento**

Aunque casi todas las aguas contienen minerales que forman incrustaciones, los carbonatos, sulfatos de calcio y magnesio son los que más problemas producen en los sistemas de enfriamiento de agua. Las incrustaciones reducen la transferencia de calor. Las incrustaciones se pueden reducir o evitar si se suaviza el agua de adición con cal y sosa cáustica, zeolite o alguno de los diversos fosfatos. La suavización o tratamiento de agua requiere el cuidado constante de un químico. Una concentración demasiado alta de sólidos solubles en el agua para la torre de enfriamiento, aumenta la temperatura de bulbo húmedo. Esto, a su vez, aumenta la temperatura del agua que sale de la torre y puede ocasionar depósitos de lodo o corrosión en el sistema. Por lo general, la concentración de sólidos se puede controlar ya sea con la purga o con rebosamiento continuo de agua al drenaje.

### **Delignificación**

Cuando las fibras de la madera hacen contacto con el carbonato de sodio en el agua de circulación, se disuelve la lignina que une las fibras entre sí. La superficie de la madera se vuelve blanca, fibrosa y con el tiempo pierde su resistencia estructural. Los puntos más problemáticos son los que están alternadamente mojados y secos. El carbonato de sodio, en cantidades perjudiciales, suele tener un pH alto, de 9 a 11. El efecto del carbonato de sodio se puede neutralizar con ácido sulfúrico. Para tener mejores resultados, se debe mantener un pH de 7 a 7.5 ( un valor de pH de 7.2 es normal para el pino de California).

**Seis pasos necesarios para determinar el tamaño de la bomba y tuberías para cualquier instalación de torre de enfriamiento.**

1. Se determina la cantidad de agua en galones por minuto que se va a circular a la torre. 2. Se hace un plano de todo el sistema de tubería. 3. Se determinan la carga estática y caída de presión en todas las unidades, exento tubería y conexiones. 4. Se selecciona la bomba. 5. Se selecciona la tubería. 6. Se verifican los tamaños de la bomba y la tubería.

**Cómo se determina la cantidad de agua en galones por minuto que debe circular en una torre de enfriamiento.**

Para las torres de enfriamiento de acondicionamiento de aire y refrigeración, la circulación requerida de agua se suele determinar con los datos del fabricante. Los requerimientos promedio de la torre de enfriamiento son de 3 a 5 galones/ min ton. Para instalaciones de enfriamiento que no sean de acondicionamiento y refrigeración, la cantidad de agua se debe determinar con la carga de enfriamiento.

### III. JUSTIFICACIÓN

Para estar a la vanguardia con lo referido a tecnología a nivel mundial en envase y envasado de productos alimenticios.

Además, por el problema de la globalización con el que se enfrentan todos los países latinos y en especial Guatemala, es necesario reducir costos, evitando desperdicios y mejorando la calidad de los productos, para poder competir con los precios de los productos de cualquier país.

Ya que se cuenta con la tecnología, para poder competir en el mercado mundial, es necesario maximizar la productividad y la calidad.

Los sistemas de enfriamiento de agua por compresión de vapor a su capacidad debida, son de suma importancia en la industria alimenticia. En los alimentos sometidos a pasteurización, ya que disminuyen la temperatura de los mismos, provocando un choque térmico que elimina la mayor parte de los microorganismos, y además evita que los alimentos cambien su propiedades organolépticas y se degrade al mínimo su valor nutritivo, y así poder envasar alimentos de buena calidad.

Los sistemas de aguas de enfriamiento por compresión de vapor a su capacidad debida, son necesarios en el envasado Aséptico de nectares en envase Tetra-BriK, ya que además de conservar las propiedades organolépticas del producto, evita fallas en el sellado del envase Tetra-Brik, disminuye el reproceso y aumenta la vida de anaquel del producto.

Además, los sistemas de compresión de vapor son de vital importancia para la industria alimenticia, ya que también se usan en el aire acondicionado para la preservación de alimentos en cuartos fríos, por ejemplo, para almacenar concentrados de frutas, carnes, quesos, etc...

Con el este trabajo se aumenta la producción, para bajar costos y darle al consumidor un producto mejor producto a un mejor precio, y ser capaces de competir con los productos extranjeros.

## IV. OBJETIVOS

### A. Objetivos Generales:

1. Diseño del equipo mecánico de compresión de vapor para agua de enfriamiento en el proceso de envasado aséptico de néctares en envase Tetra Brik.
2. Aumentar la vida de anaquel del producto, mejorando las propiedades organolépticas, como lo son el color y el sabor.

### B. Objetivos Específicos:

1. Determinar la cantidad de calor que hay que remover del sistema.
2. Determinar capacidad del compresor.
3. Determinar los flujos de: 1. refrigerante freon 22, en el compresor. 2. flujo de agua en el evaporador y en el condensador.
4. Eliminar fallas en el sellado del envase Tetra-Brik, debido a fluctuaciones de temperatura.
5. Eliminar fallas en la plegadora final, de las llenadoras TBA/3 y TBA9, ya que el sistema de enfriamiento de las mandíbulas no cumple satisfactoriamente con su objetivo, lo que implica merma de producto y material de envase, pérdida de tiempo, etc.
6. Eliminar fallas en el equipo de embalaje (pajilleras y empacadoras), lo que ocasiona merma de producto y pérdida de tiempo.
7. Eliminar fallas en el equipo de embalaje (pajilleras, empacadoras), lo que ocasiona merma de producto y pérdida de tiempo, ocasionadas por el nectar caliente que deforma el envase.



## V. PROBLEMA A RESOLVER

En una industria de alimentos de procesamiento de frutas, se cuenta con un sistema de llenado aséptico para concentrado de frutas, una llenadora de pastas Doy-Pak y un sistema de llenado de nectares en envase Tetra-Pak. Todos necesitan de un sistema de agua de enfriamiento, y conforme se fue implementando cada proceso de los anteriormente dichos, todos se instalaron al mismo sistema de aguas de enfriamiento. El problema es cuando se trabaja con todos los procesos, el sistema de aguas de enfriamiento no está diseñado para dicha capacidad y se dispara. Entonces hay que proceder a parar el llenado en la línea de nectares en envase Tetra-brik, ya que se eleva demasiado la temperatura del producto a llenar. Esto cual perjudica las propiedades físico-químicas del producto como color, sabor, contenido de vitamina C y vida de anaquel. Además, actualmente la temperatura de llenado aséptico de los nectares en envase Tetra-Brik es de 35°C, arriba de la temperatura de llenado recomendada que es por debajo de los 28°C. Lo que se pretende es diseñar un sistema de aguas de enfriamiento para el proceso de llenado aséptico de néctares en envase Tetra-Brik, para poder trabajar con todos los procesos a la vez, sin ningún problema y ofrecerle al público productos de mejor calidad.

## VI. METODOLOGÍA

Revisión bibliográfica del proceso de llenado de nectares en envase Tetra-Pak.

Revisión bibliográfica de los aspectos microbiológicos relacionados con el proceso.

Revisión bibliográfica de equipos de refrigeración.

Medir parámetros para determinar la cantidad de calor que se necesita remover del producto, para poder envasarlo a una temperatura inferior de 23°C

- Se necesita medir temperaturas y flujo de los diferentes productos en el intercambiador de calor que se utiliza para pasteurizar los néctares.

-Se necesita determinar temperaturas y flujo del agua de enfriamiento a la entrada y a la salida de la sección de enfriamiento del intercambiador de calor.

Determinar capacidad calórica del nectar de frutas.

Determinar el coeficiente global de transmisión de calor (U) del intercambiador en la sección de enfriamiento.

Determinar la cantidad de calor que se necesita para enfriar el nectar a 23 °C.

Determinar el área necesaria del intercambiador de calor en la sección de enfriamiento.

Determinar toneladas de refrigeración que se necesitan.

Medir parámetros para determinar la capacidad del equipo de refrigeración de agua actual.

Diseño del equipo de refrigeración.

- Presión en el Evaporador
- Presión en el Condensador
- Efecto Refrigerante
- Costo en Peso

- Desplazamiento teórico del compresor
- Razón de compresión
- Temperatura de descarga
- Potencia de compresión
- Flujo de agua por el Condensador

## VII. RESULTADOS

Tabla 1 de resultados

Mediciones	Resultados
densidad de los néctares	1081.32 kg / m <sup>3</sup>
flujo de producto	15.3309 m <sup>3</sup> / h
flujo de agua de enfriamiento	3.3648m <sup>3</sup> / h
temperaturas agua de enfriamiento en la entrada de sección de enfriamiento del intercambiador de calor	5 °C
temperaturas agua de enfriamiento en la salida de sección de enfriamiento del intercambiador de calor	10 °C
temperaturas de productos a la salida de la sección de enfriamiento	35 °C
área en la sección de enfriamiento en el intercambiador	1.436 m <sup>2</sup>

Tabla 2 de resultados

Cálculos	Resultados
flujos mÁsicos: agua de enfriamiento	15330.9 kg / h
néctar	3638.48255 kg / h
Calor removido por el agua de enfriamiento del néctar	320722.428 Kj
Temperatura del néctar antes de entrar a la sección de enfriamiento del intercambiador de calor.	50°C
Capacidad calórica del néctar	5.8576 Kj / kg °C
Cantidad de calor para enfriar el néctar a 23 °C.	575444.936 Kj
Coefficiente global de transmisión de calor (U).	6425.215 Kj / m <sup>2</sup> h
Área necesaria para enfriar el néctar a 23°C.	a) 3.25 m <sup>2</sup> b) 6.862 m <sup>2</sup>
Flujo de agua de enfriamiento necesario.	27.507 m <sup>3</sup> / h
Toneladas de refrigeración	46
Presión en el evaporador	5.853 bar
Presión en el condensador	15.325 bar
Efecto refrigerante	156.45 Kj / kg
Costo en peso (cantidad de refrigerante que necesita el compresor)	62.11 kg / min
Desplazamiento teórico del compresor	2.534 m <sup>3</sup> / min
Razón de compresión	2.38
-Temperatura de descarga	46.11 °C
Potencia de compresión	3 * 11.2 KW
Flujo de agua por el condensador	33.6 m <sup>3</sup> / h

## VIII. DISCUSIÓN

Para llegar a los objetivos de este trabajo se tomaron en consideración varios factores. Entre ellos:

Para intercambiadores de calor las energías potencial y cinética, son pequeñas en comparación con la energía que se transfiere entre los fluidos debido a la existencia de un gradiente de temperatura. Por tanto, para un flujo que circula a través de un intercambiador se considera la Ecuación 2.1 (pag. 57). Además, si consideramos que los calores específicos son constantes, el balance global de entalpía para un intercambiador de calor se transforma en la Ecuación 2.2 (pag. 57), empleada para realizar los cálculos de velocidad de transmisión de calor ( $q$ ) hacia las diferentes corrientes y con ello también puede emplearse para calcular el calor específico del néctar ( $C_{pn}$ ).

Para encontrar la temperatura del néctar en la entrada de la sección de enfriamiento del intercambiador, se circuló agua por el sistema, en vez de néctar y como ya se había calculado la cantidad de calor que removía el agua de enfriamiento, con la Ecuación 1 (pag.56), se determinó la diferencia de temperatura. Luego se hizo una relación con las temperaturas de salida de la sección de enfriamiento del intercambiador del néctar y el agua, se multiplicó por la diferencia de temperatura encontrada, y este dato se sumó a la temperatura de salida del néctar en la sección de enfriamiento.

Para aplicar la Ecuación 2.2 (pag. 57), en la determinación del coeficiente de transmisión de calor ( $U$ ) y el área del intercambiador de calor en la sección de enfriamiento, se aceptaron ciertas simplificaciones. Que el coeficiente global  $U$  es constante, que los calores específicos de los fluidos néctar y agua de enfriamiento son constantes, que el intercambio de calor con el ambiente es despreciable y los flujos son estacionarios.

De hecho, el coeficiente varía con las temperaturas de los fluidos, pero su variación es gradual, de forma que cuando los intervalos de temperatura son moderados la suposición de que  $U$  es constante no está sometida a un error importante.

Con la cantidad de calor que se necesita remover para enfriar el néctar, se puede determinar el flujo de agua de enfriamiento y con este dato se hallan las toneladas de refrigeración.

Al determinar el coeficiente global de calor del intercambiador, se demostró que el área actual del intercambiador de calor en la sección de enfriamiento, no es la adecuada para enfriar el néctar a la temperatura que se necesita. Entonces se procedió a rediseñar el intercambiador de calor en la sección de enfriamiento.

Al rediseñar el intercambiador de calor, se observó la posibilidad de utilizar una torre de enfriamiento existente, además de calcular el equipo de aguas de enfriamiento por compresión de vapor.

En los cálculos del área necesaria de la sección de enfriamiento de intercambiador de calor, se encuentran dos áreas. El área del inciso 1) (pag.59) es si se emplea el sistema de agua de refrigeración por compresión de vapor que se diseñó en este trabajo (compresor, evaporador y condensador) y el área del inciso 2) (pag.60) si se utiliza una torre de enfriamiento de tiro inducido.

Al hacer los cálculos del área en la sección de enfriamiento, se observó que el área que utiliza el agua de enfriamiento de la torre, es casi el doble que el área que utiliza el agua de enfriamiento de un sistema de compresión de vapor. Entonces, se estableció que vale la pena diseñar el intercambiador en la sección de enfriamiento con el área necesaria para utilizar el agua de la torre de enfriamiento y el agua de un sistema de enfriamiento por compresión de vapor.

En el diseño del intercambiador en la sección de enfriamiento, se consideró utilizar el mismo tipo de intercambiador de calor que existe en la sección de regeneración, que consiste en 3 tubos concéntricos de acero inoxidable de 63.62mm (2.5"), 50.9mm (2"), 38.175mm (1.5"), para que circule agua, producto, agua. Deben haber 4 secciones de estos tubos concéntricos de 6m de largo cada una, para cubrir el área que necesita el intercambiador. El agua tiene que ir a contra corriente con el

producto. Se consideró este diseño, para aumentar la eficiencia de intercambio de calor, utilizar menos espacio, menos tubos y más económico.

Con la cantidad de calor que se necesita remover para enfriar el néctar, se puede determinar el flujo de agua de enfriamiento y con este dato se hallan las toneladas de refrigeración.

Se realizaron los cálculos del equipo de compresión de vapor para agua de enfriamiento, por sí en el futuro sigue creciendo en la fábrica la demanda de agua de enfriamiento y se necesitara comprar el equipo.

Se escogió un compresor reciprocante debido a que la capacidad de toneladas de refrigeración es pequeña, por razones de costo y mantenimiento. Otros compresores como los centrífugos, son para capacidades mucho mayores de toneladas de refrigeración y de mayor costo.

Se escogió freón 22 como refrigerante, debido a que no es tóxico como el amoníaco. Además tiene un gran efecto refrigerante y hay industrias manufactureras de equipos de refrigeración que trabajan con freón 22 y con los datos encontrados en este trabajo se puede conseguir un equipo de refrigeración que se adecue a estas necesidades.

En los resultados se observa que el caballaje del compresor da 11.2 KW (15 hp), pero la relación hp / tonelada de refrigeración se observa que da 0.33, lo que significa que este compresor solo abarca la tercera parte de la capacidad requerida. Por tanto, se necesitan 3 compresores de 11.2 KW (15 hp), para cubrir la capacidad total de refrigeración.

Por razones de seguridad, se da un margen y se pueden colocar 4 compresores de 11.2 KW (15 hp), por si llegara a fallar uno, o si se necesitara enfriar un equipo adicional, en una futura ampliación.

Además, con los datos obtenidos de las toneladas de refrigeración necesarias y las que se remueven actualmente, solo se remueve la mitad del calor que se necesita remover y que el sistema actual de compresión de vapor de aguas de enfriamiento, se



daría abasto si se utilizase únicamente para el enfriamiento de néctares (capacidad actual 60 toneladas de refrigeración), y no como se encuentra actualmente que se utiliza para el llenado aséptico de concentrados de fruta, en el túnel de enfriamiento de la llenadora Doy Pak y en el envasado de néctares en envase Tetra Brik, con lo que se demuestra que el sistema actual no tiene la capacidad adecuada.

La torre de enfriamiento Modelo 453, como se puede ver en los cálculos, posee una gran capacidad de toneladas de enfriamiento, como para cubrir la necesidad de agua de enfriamiento en el área del Evaporador y el área de empaque Tetra-Pak

Si se optara por utilizar la torre de enfriamiento de tiro inducido, se podría desviar parte de los condensados del Evaporador, con los condensados de las calderas para aprovechar el agua caliente y ahorrar energía. Además, con esto se podría utilizar permanente la torre de enfriamiento de tiro inducido y se evitaría la compra del equipo de refrigeración. No hay que comprar bomba de agua para el intercambiador ya que la actual posee un variador de velocidad, y la bomba de la torre es lo suficiente potente para el caudal de agua de enfriamiento que se necesita.

Al lograr envasar el néctar a 23°C, se mejorará el sellado transversal del envase Tetra-Brik, ya que este sellado se hace por medio de unos inductores que mandan impulsos eléctricos y derriten las 2 capas internas de polietileno del envase, por lo que necesita ser enfriado inmediatamente para lograr un buen sello. Además, al lograr esta temperatura ya no se deforma el envase Tetra-Brik, con lo que no se destruyen envases en la plegadora final y no se ensucian las toberas que pegan los picos del envase, con eso se minimizan los problemas de picos despegados y evitan que se tapen, con producto quemado, las toberas, ver recorrido del papel figura 2.1(pag. 68) y llenadora TBA-3 figura 2.2 (pag. 68). En el equipo de envalaje, en las pajilleras y empacadoras, se minimizará el producto apachado y el desperdicio de pajilla ya que el pegamento seca inmediatamente.

Con todo lo anterior, se logra minimizar los reprocesos y maximizar la producción y con un producto de mayor calidad.

## IX. CONCLUSIONES

1. No es necesario comprar el equipo de compresión de vapor para agua de enfriamiento, ya que existe una torre de enfriamiento de tiro inducido que posee la capacidad de enfriamiento que se necesita.
2. Es necesario cambiar la sección de enfriamiento del intercambiador de calor en la sección de enfriamiento y utilizar 3 tubos concéntricos de acero inoxidable de 63.62mm (2.5"), 50.9mm (2"), 38.175mm (1.5"), para que circule agua, producto, agua. Debe haber 4 secciones de estos tubos concéntricos de 6m de largo cada una.
3. El área necesaria en la sección de enfriamiento del intercambiador es de  $6.89\text{m}^2$
4. La cantidad de calor que hay que remover con el agua de enfriamiento es de 577301.6454 kJ/h.
5. El flujo de agua necesario para el agua de enfriamiento es de  $27.6\text{ m}^3/\text{h}$  (flujo de agua del Evaporador)
6. Toneladas de Refrigeración necesarias 46 .
7. Se necesitan tres compresores de 11.2 KW (15hp).
8. El flujo de agua por condensador es de  $33.6\text{ m}^3/\text{h}$
9. Se mejora el sellado transversal del envase Tetra-Brik, ya que no habrá fluctuaciones de temperatura elevada, y esto permite que se fundan las capas de polietileno del envase y se enfríen inmediatamente, logrando un buen sello en el envase.
10. Se aumenta la vida de anaquel del producto.
11. Se disminuye el reproceso en el embalaje.

## X. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda no comprar el equipo de compresión de vapor para agua de enfriamiento ya que actualmente se cuenta con los medios para suplir las necesidades de agua de enfriamiento.
2. Se recomienda hacer los trabajos pertinentes para que parte de los condensados del evaporador, no lleguen a la torre y se utilicen en los condensados de las calderas.
3. Es necesario realizar lo antes posible los cambios en el intercambiador de calor en la sección de enfriamiento, ya que éste es el problema primordial por el que no se puede llegar a la temperatura necesaria.

## XI. BIBLIOGRAFIA

1. Canned Food. **Principles of thermal process control, acidification and container closure evaluation.** 5th. edition. Whashington D.C. 1988
2. Clarke, R.J. 1957. **Process Engineering in the Food Industries.** Clark Heywood & Company Ltd. London.
3. Elonka, S. M., Joseph Frederick Robinson. **Operaciones de plantas industriales.** Mc Graw Hill. México 1989.
4. Eno Bagnoli, M.S. Senior Research Associate, E.I du Pont de Nemours & Co.; Member, American Institute of Chemical Engineers. 1978.
5. Gurney, J. Cotter, M. **Cooling Towers.** Kansas City, U.S.A. 1967
6. Holman, **Refrig. Serv. and Contr.** enero de 1968.
7. Mc Cabe, W. **Unit Operations of Chemical Engineering.** 3rd. edition. 1980. Mc Graw Hill , New York. U.S.A.
8. Noriega, F., Federico Ling. **Equipos Industriales. Guia práctica de repación y mantenimiento.** Tomo I. Mc Graw Hill. México 1990.
9. Perry, Robert H, Don W. Green. **Perry's Chemical Engineer's Handbook.** 6th. Edition. Mc Graw Hill. Printed in Malasia. 1984.

10. Robert W. Norris, B.S. **Refrigerating and Air Conditioning Engineers**. Norris and Associates. U.S.A. 1970.
11. R. Wasmandorf. **Comercial Refrigeration**. abril de 1954 .
12. Stanford, W and G. Hill. **Cooling Towers Principles and Fundamentals** . Carter Thermal Co. U.S.A. 1969
13. Tetra Pak S.A. de C.V. **Introducción a los sistemas Asepticos**. Mexico 1995.

ANEXO A  
CALCULOS

## CÁLCULOS

Flujo actual de agua de enfriamiento

Base 1 hora

$$F_A = 4050 \text{ Gal/h}$$

$$m_A = 4050 \text{ Gal/h} * 0.003785412 \text{ m}^3/\text{Gal} * 1000 \text{ kg/m}^3 = 15330.92 \text{ kg/h}$$

Calor removido por el agua de enfriamiento

$$q = m C_p \Delta T \quad \text{Ec. (1)}$$

$$q = 15330.92 \text{ kg/h} * 4.184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (10-5)^\circ\text{C}$$

$$q_{AE} = 320722.464 \text{ kJ/h}$$

Flujo actual de néctar

densidad del néctar = 1081.32 kg/m<sup>3</sup>

$$F_N = 888.9 \text{ Gal/h}$$

$$m_N = 888.9 \text{ Gal/h} * 0.003785412 \text{ m}^3/\text{Gal} * 1081.32 \text{ kg/m}^3 = 3638.4825 \text{ kg/h}$$

Temperatura de producto antes de entrar a la sección de enfriamiento

Enfriando agua en el sistema

$$m_{As} = 888.9 \text{ Gal/h} * 0.003785412 \text{ m}^3/\text{Gal} * 1000 \text{ kg/m}^3 = 3364.852 \text{ kg/h}$$

$$\Delta T = q_{AE} / m C_p = 320722.464 \text{ kJ} / (3364.852 \text{ kg/h} * 4.184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C})$$

$$\Delta T = 22.781 \text{ }^\circ\text{C} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$$

El agua sale a 22 °C de la sección de enfriamiento del intercambiador y con producto sale a 35°C.

$$35/22 = 1.59$$

Temperatura removida del néctar por agua

$$23 \text{ °C} / 1.59 = 14.45 \text{ °C} = 15 \text{ °C}$$

La temperatura de producto antes de entrar a la sección de enfriamiento es

$$35 \text{ °C} + 15 \text{ °C} = 50 \text{ °C}$$

Capacidad calórica del néctar

$$q = m_h C_{ph} (T_{ha} - T_{hb}) = m_c C_{pc} (T_{ca} - T_{cb}) \quad \text{Ec. (1)}$$

$$3638.4825 \text{ kg/h} * C_{ph} * (50 - 35) \text{ °C} = 15330.92 \text{ kg/h} * 4.184 \text{ kJ/kg°C} * (10 - 5) \text{ °C}$$

despejando

$$C_{ph} = 5.8765 \text{ kJ / kg°C}$$

Determinar el coeficiente global de transmisión de calor (U) del intercambiador en la sección de enfriamiento.

$$\frac{dQ}{dA} = U \Delta T \quad \text{Ec (2.1)}$$

$$q = \frac{U A_T (\Delta T_2 - \Delta T_1)}{\ln (\Delta T_2 / \Delta T_1)} \quad \text{Ec (2.2)}$$

Área total

$$\text{diámetro de tubería} = 1.5 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in} * \text{m}/100\text{cm} = 0.0381\text{m}$$

$$\text{radio (r)} = \text{diámetro} / 2 = 0.0381 / 2 = 0.01905 \text{ m}$$

El intercambiador en la sección de enfriamiento consiste en 2 tubos de 6m de largo cada uno.

$$A = 2 \pi r L = 2 * 3.1416 * 0.01905\text{m} * 6\text{m} * 2 = 1.436 \text{ m}^2$$



Despejando U

$$U = \frac{q \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}{A_T (\Delta T_2 - \Delta T_1)} = \frac{320722.464 \text{ kJ} \ln(40/30)}{1.436 \text{ m}^2 (40 - 30)}$$

$$U = 6425.2161 \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C}$$

Cantidad de calor que se necesita remover para enfriar el nectar a 23 °C

$$q = m_h C_{ph} (T_{ha} - T_{hb}) = 3638.4825 \text{ kg/h} * 5.8765 \text{ kJ} / \text{kg}^\circ\text{C} (50 - 23)^\circ\text{C}$$

$$q = 577301.6451 \text{ kJ/h}$$

Área necesaria para un buen enfriamiento

1) Si empleamos un sistema de enfriamiento con aguas de refrigeración

$$A_T = \frac{q \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}{U (\Delta T_2 - \Delta T_1)} = \frac{577301.6451 \text{ kJ} \ln(40/18)}{6425.2161 \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \text{ m}^2 (40 - 18)}$$

$$A_T = 3.26 \text{ m}^2$$

Utilizando 3 tubos concéntricos de 2.5 in, 2 in y 1.5 in de diámetro los tubos y 6 m de largo, para tener agua, producto y agua, para mejorar el intercambio de calor.

$$A_i = 2 \pi r L = 2 * 3.1416 * 0.01905 \text{ m} * 6 \text{ m} = 0.7182 \text{ m}^2$$

$$\text{diámetro de tubería} = 2 \text{ in} * 2.54 \text{ cm/in} * \text{m}/100 \text{ cm} = 0.0508 \text{ m}$$

$$\text{radio (r)} = \text{diámetro} / 2 = 0.0508 / 2 = 0.0254 \text{ m}$$

$$A_e = 2 \pi r L = 2 * 3.1416 * 0.0254 \text{ m} * 6 \text{ m} = 0.9576 \text{ m}^2$$

$$A_T = A_i + A_e = 1.6758$$

$$\begin{aligned} \text{Número de tubos concéntricos de agua, producto, agua} &= 3.26 \text{ m}^2 / 1.6758 \text{ m}^2 \\ &= 1.945 = 2 \end{aligned}$$

2) Si empleamos una torre de enfriamiento de tiro inducido

$$A_T = \frac{q \ln(\Delta T_2 / \Delta T_1)}{U (\Delta T_2 - \Delta T_1)} = \frac{577301.6451 \text{ kJ} \ln(27/5)}{6425.2161 \text{ kJ} / \text{m}^2 \text{ h}^\circ\text{C} \text{ m}^2 (27-5)}$$

$$A_T = 6.89 \text{ m}^2$$

Con el mismo tipo de tubos concéntricos que el inciso anterior

$$\text{No. de tubos} = 6.89 \text{ m}^2 / 1.6758 \text{ m}^2 = 4.11 = 4$$

Flujo de agua de enfriamiento necesario

$$q = m C_p \Delta T \quad \text{Ec. (1)}$$

despejando  $m = q / C_p \Delta T$

$$m = 577301.6451 \text{ kJ} / 4.184 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (10 - 5)^\circ\text{C} = 27595.681 \text{ kg/h}$$

$$m = 27.6 \text{ m}^3 / \text{h} \quad (122 \text{ GPM})$$

Toneladas de refrigeración

$$T_1 = 5^\circ\text{C} = 41^\circ\text{F}$$

$$T_2 = 10^\circ\text{C} = 50^\circ\text{F}$$

$$\text{Toneladas de Refrigeración} = \frac{122 \text{ GPM} * 8.33 \text{ lb/gal} * (50 - 41)^\circ\text{F} * 1 \text{ Btu/lb}^\circ}{200 \text{ Btu} / \text{ton. Ref.}}$$

Toneladas de Refrigeración = 45.5 = 46

Utilizando Freon 22 como refrigerante:

Presión en el Evaporador

De las tablas de freon 22

$273\text{K} + 5^\circ\text{C} = 278\text{K}$  de las tablas de freon 22 corresponde una presión de 5.883 bar.

Presión en el Condensador

La temperatura de condensación puede ser de  $35^\circ\text{C}$  más  $5^\circ\text{C}$  de la diferencia de temperatura da  $40^\circ\text{C}$ . De las tablas de freon 22 la presión del condensador

$273\text{K} + 40^\circ\text{C} = 313\text{K}$  corresponde 15.325 bar

Efecto Refrigerante ( E.R.)

De las tablas de freon 22 a 278K  $h_g = 605.88\text{ kJ/kg}$

313K  $h_f = 449.43\text{ kJ/kg}$

$$\text{E.R.} = h_g - h_f = 156.45\text{ kJ/kg} \quad (67.26\text{ Btu/lb})$$

$$\text{Btu/lb} = 2.326\text{ kJ/kg}$$

Costo en Peso

$$\text{lb/min} = \frac{46\text{ ton} * 200\text{ Btu}/(\text{min ton})}{67.26\text{ Btu/lb}} = 136.78\text{ lb/min} = 62.11\text{ kg/min}$$

Desplazamiento Teórico del compresor

De las tablas de freon 22 a 278K  $V_g = 0.040798\text{ m}^3/\text{kg}$

$$\text{m}^3/\text{min} = \text{gasto en masa} * V_g = 2.534\text{ m}^3/\text{min}$$

Razón de compresión

$$R.C. = P_d / P_s = 2.38$$

$$P_d = 15.325 + 1.01325 = 16.33825 \text{ bar}$$

$$P_s = 5.853 + 1.01325 = 6.86625 \text{ bar}$$

En la figura 12.38 (pag. No. 67) la eficiencia volumetrica total con una razón de compresión de 2.38 es 75%. Por tanto el desplazamiento real del compresor es igual que

$$2.534 \text{ m}^3/\text{min} / 0.75 = 3.38 \text{ m}^3/\text{min}$$

Temperatura de descarga

$$T_d = 41^\circ\text{F} + 460 (2.38)^{(1.19-1/1.19)}$$

$$T_d = 115^\circ\text{F} = 46.11^\circ\text{C}$$

Potencia de compresión

$$\text{kJ/min} = (h_d - h_g) * \text{gasto en masa}$$

$$h_g = 605.88 \text{ kJ/kg}$$

a 319K  $h_d = 616.54 \text{ kJ/kg}$

$$\text{kJ/min} = (616.54 - 605.88) \text{ kJ/kg} * 62.11 \text{ kg/min}$$

$$\text{kJ/min} = 662.1 \text{ kJ/min} \quad (627.55 \text{ Btu/min})$$

$$H_p = 627.55 \text{ Btu/min} / 42.4 \text{ Btu/min} = 14.8 \text{ Hp} = 15 \text{ Hp} = 11.19 \text{ kW}$$

$$H_p/\text{ton} = 15/46 = 0.33$$

$$H_p/\text{ton} = 15 * 3 / 46 = 0.978$$

Se necesitan 3 compresores de 15 Hp = 11.19 kW

Flujo de agua por el condensador

$$\begin{aligned}
 & (46 \text{ ton} + ((45 \text{ Hp} * 2545 \text{ Btu/h Hp}) / 12000 \text{ Btu/h ton})) * 200 \text{ Btu/min ton} \\
 = & \frac{\text{-----}}{9 \text{ }^\circ\text{F} * 8.33 \text{ lb/Gal}} \\
 & = 148 \text{ GPM} = 33.6 \text{ m}^3/\text{h}
 \end{aligned}$$

Calculo de la capacidad de la torre de enfriamiento

Serie 15

2 motores de 40 Hp = 30 kW

Flujo de agua = 1500 GPM

Temperatura de agua caliente = 120 °F (48 °C)

Temperatura de agua fría = 70 °F (21 °C)

$$\begin{aligned}
 \text{Toneladas de Refrigeración} = & \frac{1500 \text{ GPM} * 8.33 \text{ lb/gal} * (120 - 70) \text{ }^\circ\text{F} * 1 \text{ Btu/lb}^\circ\text{F}}{\text{-----}} \\
 & 200 \text{ Btu / ton. Ref.}
 \end{aligned}$$

Toneladas de Refrigeración = 3123 teoricas

ANEXO B

SIMBOLOS

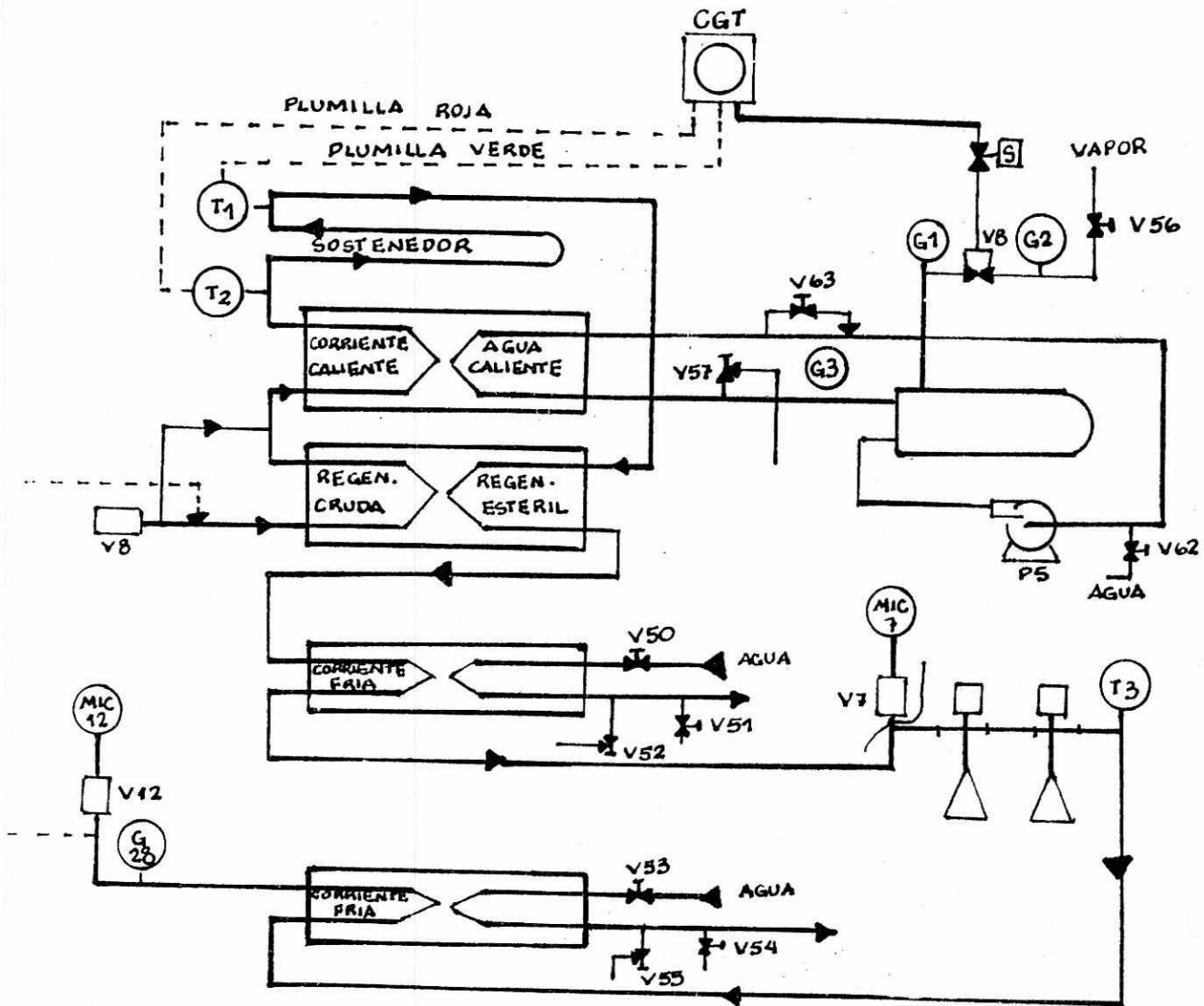
## SIMBOLOS

- $F_A$  = Flujo actual de agua de enfriamiento Gal/h  
 $m_A$  = Flujo másico actual de agua de enfriamiento kg/h  
 $q_{AE}$  = Calor removido por el agua de enfriamiento (kJ)  
 $F_N$  = Flujo actual de nectar Gal/h  
 $m_N$  = Flujo másico actual de nectar kg/h  
 $m_{As}$  = Flujo másico de agua en el sistema kg/h  
 $\Delta T$  = diferencial de temperatura  
 $q_{AE}$  = Calor removido por el agua de enfriamiento kJ  
 $q$  = cantidad de calor  
 $m_h$  = Flujo másico de fluido caliente  
 $C_{ph}$  = calor específico del fluido caliente  
 $(T_{ha} - T_{hb})$  = diferencia de temperatura de fluido caliente  
 $m_c$  = Flujo másico de fluido frío  
 $C_{pc}$  = calor específico del fluido frío  
 $(T_{ca} - T_{cb})$  = diferencia de temperatura de fluido frío  
 $U$  = coeficiente global de transmisión de calor  $\text{kJ} / \text{m}^2 \text{h}^\circ\text{C}$   
 $A_T$  = Area total  
 $\Delta T_2$  = diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el fluido frío en la salida del intercambiador  
 $\Delta T_1$  = diferencia de temperatura entre el fluido caliente y el fluido frío en la entrada del intercambiador  
 $r$  = radio de tubería  
 $A_i$  = Area interna  $\text{m}^2$   
 $A_e$  = Area externa  $\text{m}^2$   
 Ton. Ref. = toneladas de refrigeración  
 E.R. = Efecto Refrigerante  
 $h_g$  = entalpía vapor saturado kJ/kg  
 $h_f$  = entalpía líquido saturado kJ/kg  
 $V_g$  = volumen específico de vapor saturado  $\text{m}^3/\text{kg}$   
 R.C. = Razón de compresión  
 $P_d$  = Presión absoluta de descarga bar  
 $P_s$  = Presión absoluta de succión bar  
 $T_d$  = Temperatura de descarga  
 $h_d$  = entalpía de vapor sobrecalentado de descarga kJ/kg  
 costo en peso = cantidad de refrigerante que necesita el compresor

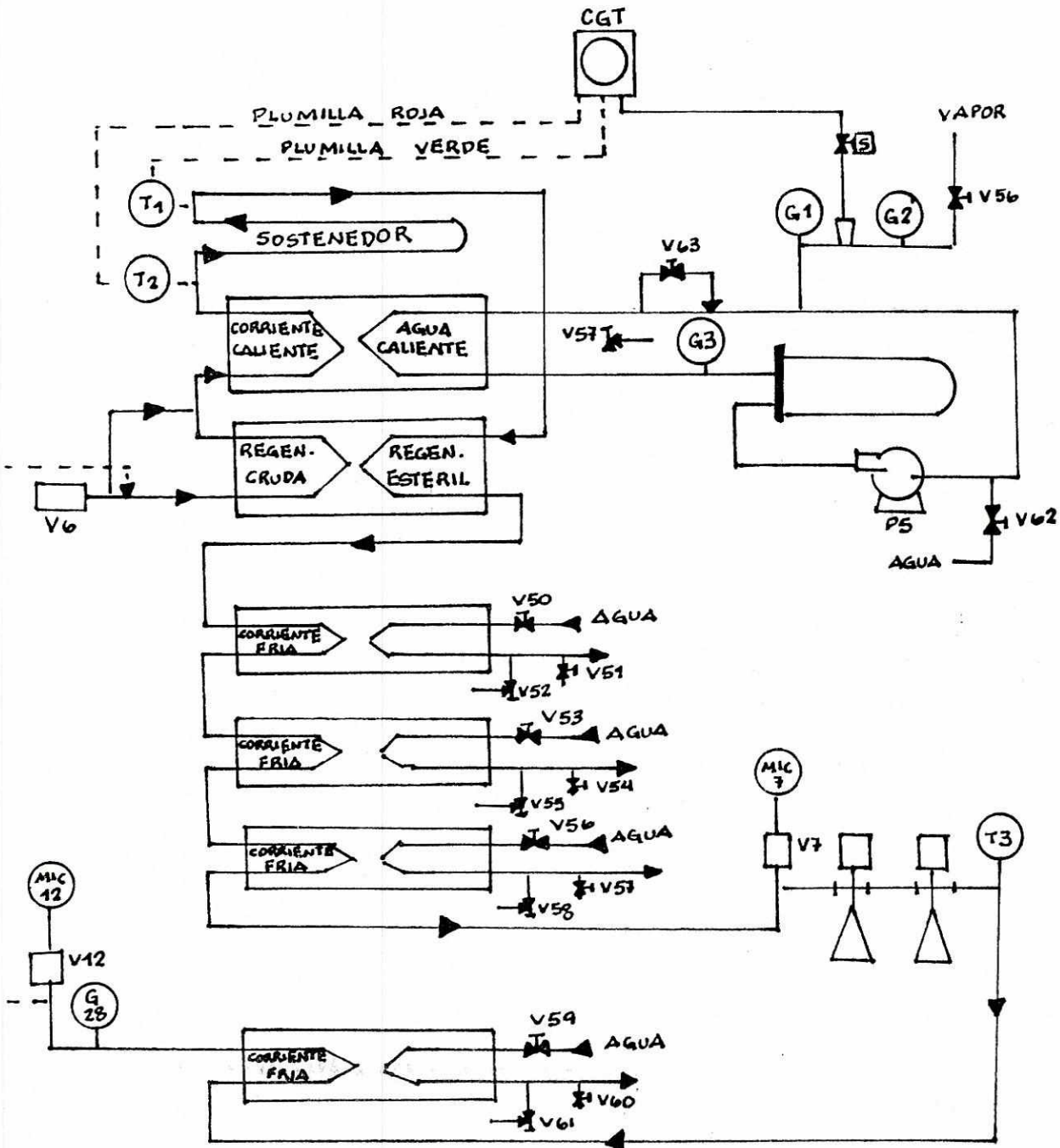
ANEXO C  
DIAGRAMAS



## DIAGRAMA ACTUAL DEL PROCESO



# DIAGRAMA DEL PROCESO NECESARIO



ANEXO D

FIGURAS

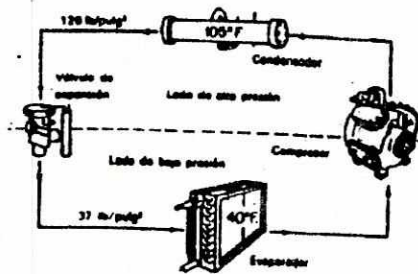


FIGURA 1.1 Ciclo básico de refrigeración

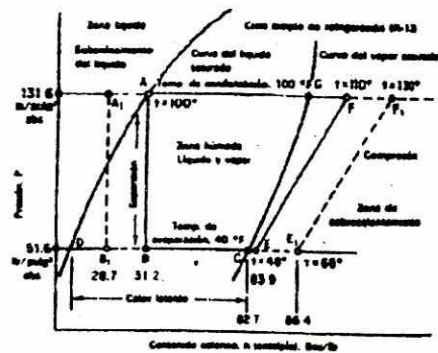


FIGURA 1.2 Diagrama P-h típico para el R-12 (Holman, Refrig., Serv. and Contr., enero 1968)

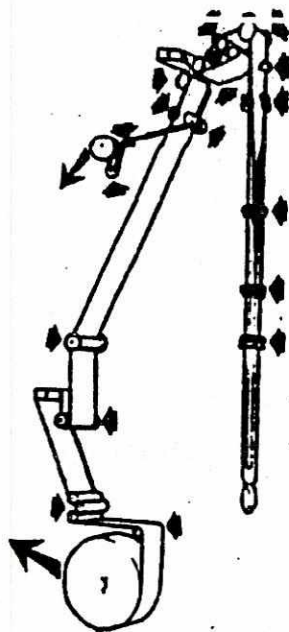


FIGURA 2.1 Recorrido del envase en la llenadora TBA3

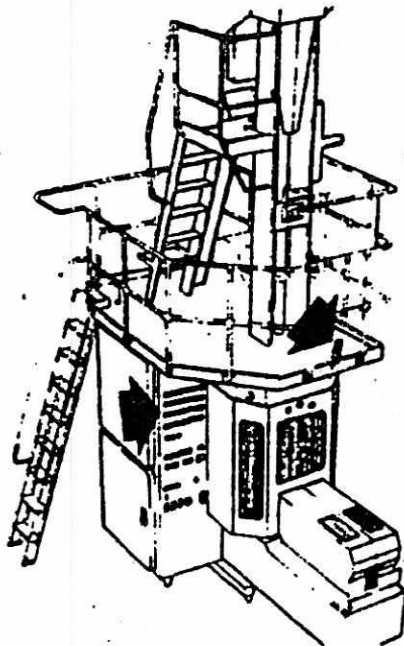


FIGURA 2.2 Llenadora TBA3