

Instituto Tecnológico de Costa Rica



Escuela de Ingeniería Electromecánica

## **FLORIDA PRODUCTS**

Informe de práctica de especialidad para obtener  
el grado de bachiller en Ingeniería en  
Mantenimiento Industrial

### **PROYECTOS**

- 1. Programa de mantenimiento preventivo para la planta de piña.**
- 2. Estudio de la carga térmica por equipos y revisión del sistema de refrigeración en amoníaco (R717).**
- 3. Confección de planos 2D para el sistema de refrigeración R717 y el sistema de vapor - planta de banano.**

Realizado por: **Leonardo Carvajal Jiménez**

Barreal de Heredia, Noviembre 2002

## **Agradecimiento**

Deseo manifestar mi profundo agradecimiento a la empresa Florida Products S.A, por permitirme realizar mi práctica de especialidad en Ingeniería Mantenimiento Industrial.

Expreso mi gratitud a las siguientes personas:

- Al Gerente General **Lic. Juan Luis Corella** por permitir la realización de mi práctica de especialidad en Ingeniería. ¡ Muchas gracias Don Juan Luis!.
- Al Gerente de Proyectos Especiales, **Ing. German Guzmán** por la ayuda y amistad brindada.
- Al Gerente de Producción, **Ing. Jose Antonio Quirós** por la colaboración y amistad brindada.
- A mi profesor guía **Ing. Walter Bolaños**, por su ayuda desinteresada y vocación de enseñanza. Gracias infinitas Don Walter, por enseñarme que uno de los valores más importante en las personas es la humildad.
- Al **Ing. Marco Zamora Rojas**, por la guía, ejemplo y ayuda ofrecida durante estos años de estudio, ¡ gracias Marco!.
- Y como agradecimiento especial, al Gerente de Mantenimiento **Ing. Ronald Porrás** por la confianza e interés de aprendizaje hacia mi persona; muchas gracias Don Ronald por sus invaluable consejos y amistad. ¡Que Dios bendiga siempre a usted y su familia!

No puede olvidarme de todos los técnicos del departamento de Mantenimiento; a ellos les agradezco su ayuda y conocimientos aportados para la realización de estos proyectos. Y deseo expresar un agradecimiento general a todos mis compañeros de mi querido TEC, así como los profesores de la Escuela de Electromecánica por todos los conocimientos y consejos aportados a mi formación profesional.

## **Dedicatoria Especial**

No hay palabras que describan la gran satisfacción de haber alcanzado mi meta profesional.

Por tal motivo, dedico especialmente mi título profesional de Ingeniero en Mantenimiento Industrial, a mi madre **Elida Jiménez Jiménez**; ¡Gracias Infinitas Mamita!; por tu esfuerzo, apoyo leal, ejemplo de madre trabajadora y de tenacidad en la vida.

A ti **mamita** se debe mi éxito como persona, estudiante y profesional.

A mi padre **Dagoberto Carvajal Abarca**, gracias por tu apoyo, amor y ejemplo de hombre. ¡ Gracias y que Dios te bendiga!

A mi tía **Alexandra Jiménez Jiménez**; gracias mi machita por tu amor, apoyo, enseñanzas y valores que ayudaron a formar, la persona que soy.

En especial deseo agradecer a mi tío **Dr. Eduardo Carvajal Rodríguez**, ¡gracias papá! por la sabiduría y ejemplo transmitido hacia mi persona durante todos estos años, ¡ Gracias papi por todo!

Y al resto de mi familia,

¡ Gracias por su apoyo y cariño!

## Resumen

La empresa Florida Products S.A se ubica en Barreal de Heredia, la cuál es una empresa del tipo Industria Alimenticia donde se produce para exportación, jugo concentrado de piña (A y B), jugo y puré de banano; donde el producto terminado se empaca en estañones de 52 galones. Cabe señalar, que la Planta de Producción para piña presenta 7 meses de haber iniciado labores.

La realización del presente trabajo, consiste en dos proyectos enfocados en la Planta de Piña y otro para la Planta de Banano; los cuáles son:

1. Diseño e Implementación de un Programa de Mantenimiento Preventivo para 75 máquinas destinadas a la producción de Jugo Concentrado A y B.
2. Estudio de la carga térmica y revisión de la instalación del Sistema de Refrigeración por Compresión de Vapor en Amoniaco (717).
3. Elaboración de planos en 2D y 3D para el sistema de refrigeración en amoniaco, las aplicaciones de enfriamiento y para el sistema de generación de vapor; así como la aplicación de vapor en la planta de banano.

Actualmente, la gestión de mantenimiento comprende el mantenimiento correctivo y programado en las plantas de producción de banano y piña.

Presenta una estructura y documentación definida, desde el personal técnico (eléctrico, mecánico, refrigeración, ingeniería) como la infraestructura y sistema de documentación (orden trabajo, requisición de bodega, etc) necesaria para el funcionamiento y eficiencia del departamento.

Como **primer proyecto** se pretende innovar en la gestión del departamento de mantenimiento, con el concepto y aplicación del mantenimiento preventivo para las Plantas de Piña y Banano.

Como se señaló anteriormente, el PMP desarrollado hasta el momento corresponde a la planta de piña; cuyos manuales, gantt's anuales y programa que ejecuta el **PMP** (base datos), fueron entregados a finales del mes de setiembre del presente año.

Como **segundo proyecto**, se calcula la carga térmica que demanda los equipos de producción para producir jugo de piña concentrado y jugo de piña simple pasteurizado; además de revisar el sistema de refrigeración en amoníaco, ya que no es posible producir jugo pasteurizado A ; debido a la falta de capacidad del compresor ante la demanda térmica.

Esta falta de capacidad del compresor es justificada debido a las tuberías (diámetros nominales) de succión y descarga mal seleccionados.

En este informe, se presenta los cálculos correspondientes a la carga térmica y la solución al problema de enfriamiento (proyecto #2) para la planta de piña.

Y como **tercer proyecto**, se requirió la confección de planos en dos dimensiones sobre la instalación física del “**sistema de refrigeración por compresión de vapor con R-717**” y el “**sistema de generación de vapor para la planta de banano**”; el último plano se utilizó para demostrarle a una empresa certificadora de “puré de banano orgánico”, el adecuado control y manejo del vapor condensado luego de la aplicación de vapor.

## **Índice General**

Capítulo 1.....	13
1.1 Reseña histórica de Florida Products S. A.....	13
Capítulo 2 .....	17
2.1 Introducción del proceso productivo.....	17
Capítulo 3 .....	18
3.1 Marco teórico del mantenimiento preventivo.....	18
3.2 Objetivos generales del PMP – Planta de piña.....	24
3.3 Objetivos específicos del PMP – Planta de piña.....	24
3.4 Situación actual del departamento de mantenimiento.....	25
3.5 Codificación de secciones y máquinas - Planta de piña.....	26
3.6 Disponibilidad para el PMP – Planta de piña.....	30
3.7 Análisis y diseño del Gantt Anual por sección productiva – Planta de piña.....	32
3.8 Costo de mano obra directa – PMP Planta de piña.....	34
3.8.1 Análisis de inversión aplicando conceptos de ingeniería económica para opciones #1 y #2 .....	37
3.9 Conclusiones del PMP – Planta piña.....	45
3.10 Recomendaciones del PMP – Planta piña.....	47
3.11 Manual del usuario – Programa PMP.....	49

Capítulo 4 .....	56
4.1 Marco teórico de refrigeración con amoniaco (R717).....	56
4.2 Objetivos generales del proyecto: Estudio de refrigeración.....	66
4.3 Objetivos específicos del proyecto: Estudio de refrigeración.....	66
4.4 Máquinas y equipos de la Planta de piña.....	67
4.5 Planteamiento del problema de enfriamiento.....	69
4.6 Cálculo de la carga térmica por equipos de producción.....	70
4.6.1 Sistema de condensado para esencia de piña Evaporador TASTE.....	70
4.6.2 Tanques de almacenamiento (Blenders Jugo Piña A).....	79
4.6.3 Tanque enchaquetado para esencia líquida de piña.....	82
4.6.4 Pasteurizador APV de jugo simple.....	85
4.7 Sistema de circulación de agua + etilenglycol.....	90
4.8 Sistema de refrigeración en amoniaco – Planta piña.....	92
4.8.1 Análisis de los intercambiadores de calor #1 y #2.....	94
4.9 Revisión del sistema refrigeración en amoniaco – Planta piña.....	98
4.9.1 Tonelaje teórico y real en la línea de succión.....	99
4.10 Estimación económica para la modificación del sistema.....	101
4.11 Conclusiones del estudio de refrigeración.....	102
4.12 Recomendaciones del estudio de refrigeración.....	104

Capítulo 5 .....	105
5.1 Bibliografía .....	105
5.2 Anexo #1: Manuales y análisis de disponibilidad.....	106
5.3 Anexo #2: Análisis económico del costo MOD – PMP.....	107
5.4 Anexo #3: Cotizaciones .....	108
5.5 Anexo #4: Fotografías de los equipos de producción.....	109
5.6 Anexo #5: Información técnica de equipos.....	115
5.7 Anexo #6: Planos en Autocad – 2D .....	116
5.8 Anexo #7: Propiedades termofísicas de fluidos.....	117

## **Índice de Tablas**

### **Capítulo 3**

■ Tabla #1: Codificación de las plantas de producción en Florida Products S.A.....	26
■ Tabla #2: Codificación de las secciones de producción en Florida Products S.A.....	26
■ Tabla #3: Codificación de las máquinas - sección: Recepción de piña.....	27
■ Tabla #4: Codificación de las máquinas - sección: Lavado y recepción.....	27
■ Tabla #5: Codificación de las máquinas - sección: Extracción de jugo.....	28
■ Tabla #6: Codificación de las máquinas - sección: Área de Centrifugas.....	28
■ Tabla #7: Codificación de las máquinas - sección: Elaboración concentrado jugo A.....	28
■ Tabla #8: Codificación de las máquinas - sección: Sistema refrigeración amoniacó.....	29
■ Tabla #9: Codificación de las máquinas - sección: Elaboración jugo concentrado B.....	29
■ Tabla #10: Secciones de producción con faltante de disponibilidad en la especialidad mecánica.....	33
■ Tabla #11: Tabla resumen de costos semanal bruto MOD PMP – Planta Piña.....	35
■ Tabla #12: Tabla resumen de costos mensual bruto MOD PMP – Planta Piña.....	35
■ Tabla #13: Tabla resumen del costo anual bruto MOD PMP – Planta Piña.....	36

- Tabla #14: Costos que debe asumir Florida Products  
en MOD PMP – Planta Piña.....37
- Tabla #15: Tabla resumen del costo semanal real MOD  
PMP – Planta Piña opción #1.....38
- Tabla #16: Tabla resumen del costo mensual real MOD  
PMP – Planta Piña opción #1.....38
- Tabla #17: Tabla resumen del costo anual real MOD  
PMP – Planta Piña opción #1.....39
- Tabla #18: Valor futuro de inversión tomando el rendimiento  
anual de la Planta de Piña opción #1.....40
- Tabla #19: Valor futuro de inversión tomando la opción de invertir en  
un sistema bancario con  $i = 18\%$  anual en colones opción #1.....40
- Tabla #20: Costo de la MOD por especialidad – Florida Products.....41
- Tabla #21: Tabla resumen del costo semanal real MOD  
PMP – Planta Piña opción #2.....42
- Tabla #22: Tabla resumen del costo mensual real MOD  
PMP – Planta Piña opción #2.....43
- Tabla #23: Tabla resumen del costo anual real MOD  
PMP – Planta Piña opción #2.....43
- Tabla #24: Comparación y ahorro del costo anual real MOD  
PMP – Planta Piña opciones #1 y #2.....44

## **Índice de Tablas**

### **Capítulo 4**

■ Tabla #1: “Porcentajes de concentración en la disolución agua + glycol” .....	67
■ Tabla #2: “Tipos de jugo de piña producidos por Florida Products S.A” .....	69
■ Tabla #3: “Producción de jugo piña concentrado por tonelada métrica” .....	71
■ Tabla #4: “Producción de jugo piña A y B concentrado por hora” .....	71
■ Tabla #5: “Flujos másicos teóricos y reales para el jugo de piña - Evaporador TASTE” .....	74
■ Tabla #6: “Flujos másicos de entrada y salida para el sistema de condensado para esencia” .....	75
■ Tabla #7: “Flujos másicos de entrada y salida para cada Blender de jugo concentrado de Piña” .....	80
■ Tabla #8: “Flujos másicos de entrada y salida para el tanque enchaquetado de esencia líquida de piña” .....	83
■ Tabla #9: “Carga térmica y caudal de agua + glycol según el ingreso de jugo al Pasteurizador APV” .....	88
■ Tabla #10: “Resumen de la carga térmica y flujo másico de agua + glycol para cada equipo - máquina ” .....	89
■ Tabla #11: “Especificaciones de las bombas centrífugas utilizadas en el sistema de circulación agua + glycol” .....	90
■ Tabla #12: “Análisis del rendimiento de cada bomba centrífuga para los Intercambiadores de calor #1 y #2” .....	91
■ Tabla #13: “Características técnicas para el Intercambiador de calor #1: amoníaco – agua + glycol” .....	92

- Tabla #14: “Características técnicas para el intercambiador de calor #2:  
amoniaco – agua + glycol” .....92
- Tabla #15 “Características técnicas para el compresor recíprocante de pistón  
para refrigerante amoniaco (R-717)” .....93
- Tabla #16: “Flujo másico de amoniaco para la carga térmica de los  
intercambiadores de calor #1 y #2” .....97
- Tabla #17: “Capacidad de refrigeración según el diámetro nominal  
de la tubería de succión en amoniaco.....99
- Tabla #18: “Estimación del costo económico para la modificación  
de la tubería de succión – compresor Vilter” .....101

## **Capítulo 1**

### **1.1 Descripción de la empresa Florida Products**

**FLORIDA PRODUCTS S.A.** surgió en el año de 1987 producto de una fusión con Comerrico S. A. prevaleciendo el nombre de Productos Florida y Florida Products S. A. en Inglés.

Inicialmente la empresa se dedicaba al proceso de diversas frutas tropicales donde destacaban piña, papaya, maracuyá y naranja. Dicha actividad era para atender el mercado local y centroamericano básicamente y no había una operación constante ni en cuanto a procesos, ni de especialidad y los clientes hacían pedidos esporádicos.

De hecho para finales de la década del 80, Florida contaba con una planilla fija de 18 funcionarios y los restantes eran con carácter ocasional no superando la cifra de 50.

Fueron muchos los intentos realizados inclusive para inicios de la década del 90. Se experimentó en esos años también con mango y además se desarrolló temporalmente una maquila con repollo. Sin embargo, había épocas durante el año que no había proceso y en los mejores tiempos apenas se laboraba en producción de lunes a viernes con un solo turno.

A finales del año 1992 empezó a surgir una idea de parte del presidente de la empresa de adquirir un equipo aséptico para producir puré de banano ya que el mercado en ese entonces ofrecía una enorme oportunidad. Fue así como se finiquitó un acuerdo con el Banco de Costa Rica y se adquirió el equipo de una planta que estaba ubicada en San Mateo de Orotina y a principios del año 1993 se inició el traslado e instalación de ese equipo en la planta del Barreal de Heredia.

El año 1993 fue un experimento. Hubo muchos ajustes que realizar a pesar de que ya se producía puré de banano pero en pequeñas cantidades que no iban más allá de 35 estañones diarios.

El año 1994 fue el inicio de la consolidación del proceso de puré de banano, logrando producciones récord como fue el mes de agosto, con 464 toneladas de producto (2.044 estañones). Dado ese panorama y a las bondades del mercado, la empresa decidió especializarse en el proceso del banano en fruta y una vez lograda la etapa del puré de banano, inició la exploración de producir jugo de banano.

Esta nueva experiencia, Florida la inicia a finales del año 1994. Sin embargo, fue un proceso lento, de prueba y error y en momentos hasta se pensó en abandonar la producción de jugo de banano. No fue sino hasta finales del año 1995 y principalmente 1996, que se alcanzaron producciones industriales de hasta 300 toneladas en el mes de setiembre -1996.

El año 1997 fue un año récord en producción de puré y jugo de banano. Se laboró ese año con dos turnos de producción de lunes a sábado de 6:00 a.m. hasta las 10:00 p.m. y el personal superaba los 150 empleados. Fue tanto el éxito que se consideró consolidado totalmente el proceso de puré de banano y se decidió hacer inversiones adicionales de equipo para el proceso de jugo clarificado con la idea de incrementar en un 40% la capacidad de proceso.

Para mediados del año 2002, Florida Products S.A inicia la producción de Jugo Concentrado de Piña (del Tipo A y B) para la exportación.



## **VISION**

FLORIDA PRODUCTS S.A. se mueve en el ámbito e la fabricación de materias primas para la industria alimenticia, específicamente derivados del banano y piña.

Es nuestro primordial objetivo mantenernos como uno de los líderes del mercado de los suplidores de estos derivados, explorando oportunidades de industrialización de otras frutas tropicales con el propósito de complementar con el propósito de complementar nuestra línea de productos y poder así satisfacer mayormente a nuestros clientes.

Esto lo lograremos por medio de la investigación, el trabajo en equipo y un mejoramiento constante.



## **MISIÓN**

FLORIDA PRODUCTS S.A. es una empresa dedicada a la producción de productos derivados del banano y la piña como materia prima para la industria alimenticia a nivel internacional y es nuestro propósito principal la plena satisfacción de nuestro clientes, garantizándoles continuidad permanente en la calidad de nuestros productos con precios altamente competitivos en el mercado mundial y un nivel de respuesta ágil y oportuno.

## **Capítulo 2**

### **2.1 Introducción**

Como se especificó anteriormente, la empresa Florida Products S.A se dedica principalmente a la producción de jugo concentrado de piña, jugo y puré de banano. Los proyectos que posteriormente se explicarán, se relacionan principalmente en la planta de producción de piña.

De tal manera, es conveniente dar una reseña de las etapas de producción para producir jugo de piña concentrado.

La piña entera es transportada en camiones (cabezales) que contienen 21 toneladas métricas; los cuáles se colocan en una rampa inclinada que permite el desalojo de la piña.

La piña es introducida en un canal de agua, donde el desplazamiento de la piña es provocado por el movimiento del agua producida por dos bombas centrífugas. Posteriormente, la piña se le rocía una solución de cloro para desinfectarla y luego trasladarla hacia la parte superior de la planta a través de un elevador de cangilones vertical para su proceso.

Una vez conducida la piña hasta la parte superior, es rociada nuevamente con agua limpia para retirar la solución de cloro; y luego es llevada por dos bandas transportadoras hacia la extractora de piña, la cuál parte la fruta por la mitad y la tritura. En este proceso se extrae jugo A a 12 °Brix (jugo primario) y cáscara; posteriormente la cáscara es procesada para aprovechar más la piña; es en este punto donde se obtiene jugo B a 12 °Brix.

Ambos jugos A y B son trasegados hacia una serie de máquinas que eliminan cierto porcentaje de sólidos y agua contenida; obteniéndose jugo concentrado de piña a 60,6 °Brix; el cuál es empacado como producto final en estañones de 52 galones a una temperatura de almacenamiento de – 30 °C.

## Capítulo 3

### “Diseño e implementación de un programa mantenimiento preventivo (PMP) – Planta piña”

#### 3.1 Marco teórico

##### “El mantenimiento preventivo”<sup>1</sup>

En la actualidad muchas industrias están utilizando programas de mantenimiento preventivo como herramienta para mejorar la productividad, la vida útil y el funcionamiento de las máquinas críticas de producción.

Esta realidad pone de manifiesto la vigencia que tiene el mantenimiento preventivo aún a inicios del año 2000.

Esta vigencia también la encontramos en lo que podríamos llamar “**sistemas modernos de administración de mantenimiento**”, como lo son el mantenimiento productivo total (TPM) y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), los que consideran al mantenimiento preventivo como parte fundamental de su estrategia.

Definitivamente, se sigue utilizando el mantenimiento preventivo, porque precisamente su impacto en el aumento en la productividad de las industrias está comprobado.

#### Concepto del mantenimiento preventivo

Es un tipo de mantenimiento basado en la ejecución de inspecciones periódicas, a las máquinas e instalaciones en forma planificada, programada y controlada. Con el objetivo de detectar desgastes que puedan conducir a fallas, y poder corregirlas.

---

<sup>1</sup> Tomado del curso “Administración de mantenimiento I” Ing. Jorge Valverde

## **INSPECCION**

La inspección debe ser vista como un trabajo de mantenimiento preventivo, que puede consistir de trabajos menores, como por ejemplo: mediciones de presión y temperatura, pero también de trabajos mayores como: desarmes de máquinas para revisar las partes internas y labores de lubricación.

Se debe tener presente, que al hablar de trabajos o inspecciones mayores o menores, no se está calificando su importancia dentro del mantenimiento preventivo, sino que se refiere a la duración del trabajo.

## **TIPOS DE INSPECCION**

- **Con máquina parada:** son aquellas inspecciones que tienen que ver con el desarme de la parte a revisar.
- **Con máquina en marcha:** son aquellas inspecciones que tienen que ver con la medición de los parámetros de funcionamiento (alineación de cadenas o fajas, lubricación de rodamientos, vibración, etc).

## **DESCRIPCIÓN DE LA INSPECCION**

La descripción de la inspección trata todo lo relacionado con la redacción de los trabajos de mantenimiento preventivo, que permitirá detectar un desgaste conducente a una falla.

- **Objetivo:** definir el componente a revisar y determinar el tipo de revisión.
- **Orientación:** se refiere a la acción que debe realizar el operario luego de la revisión.

## **TIPOS DE ORIENTACIÓN**

### **1. Reportar:**

- Se utilizará cuando la corrección del desgaste implique un trabajo mayor.
- Con el reporte se pretende controlar el incremento del desgaste.
- Verifique el desgaste o desajuste y lo reporta.

### **2. Corregir si es necesario:**

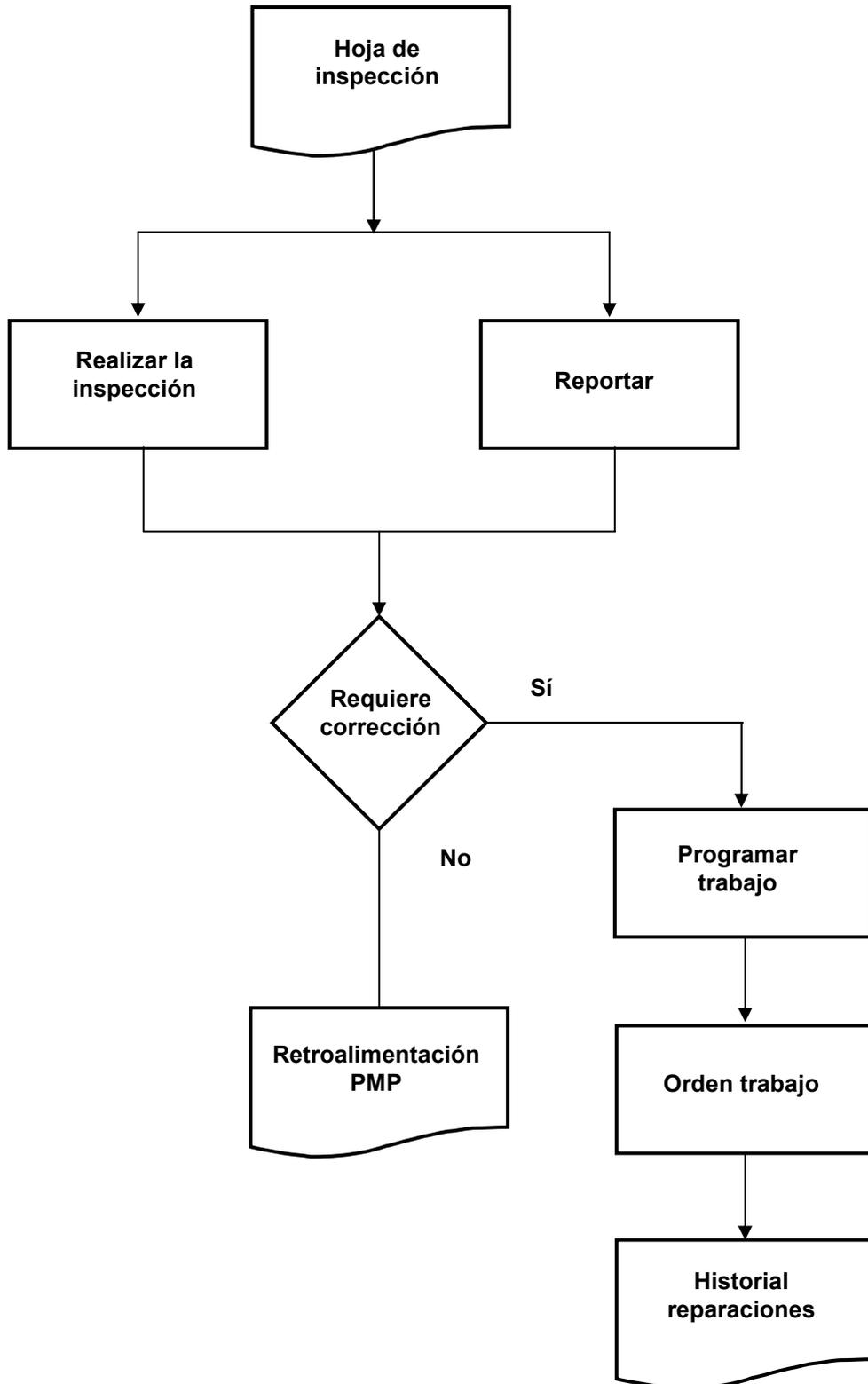
- Este tipo de orientación se basa en el concepto de: “criterio preventivo”.
- Se verifica el desgaste o desajuste y se corrige o no, según el “criterio preventivo”.
- Si se requiere corrección, esta se realiza inmediatamente dentro del tiempo de inspección.

### **3. Cambiar:**

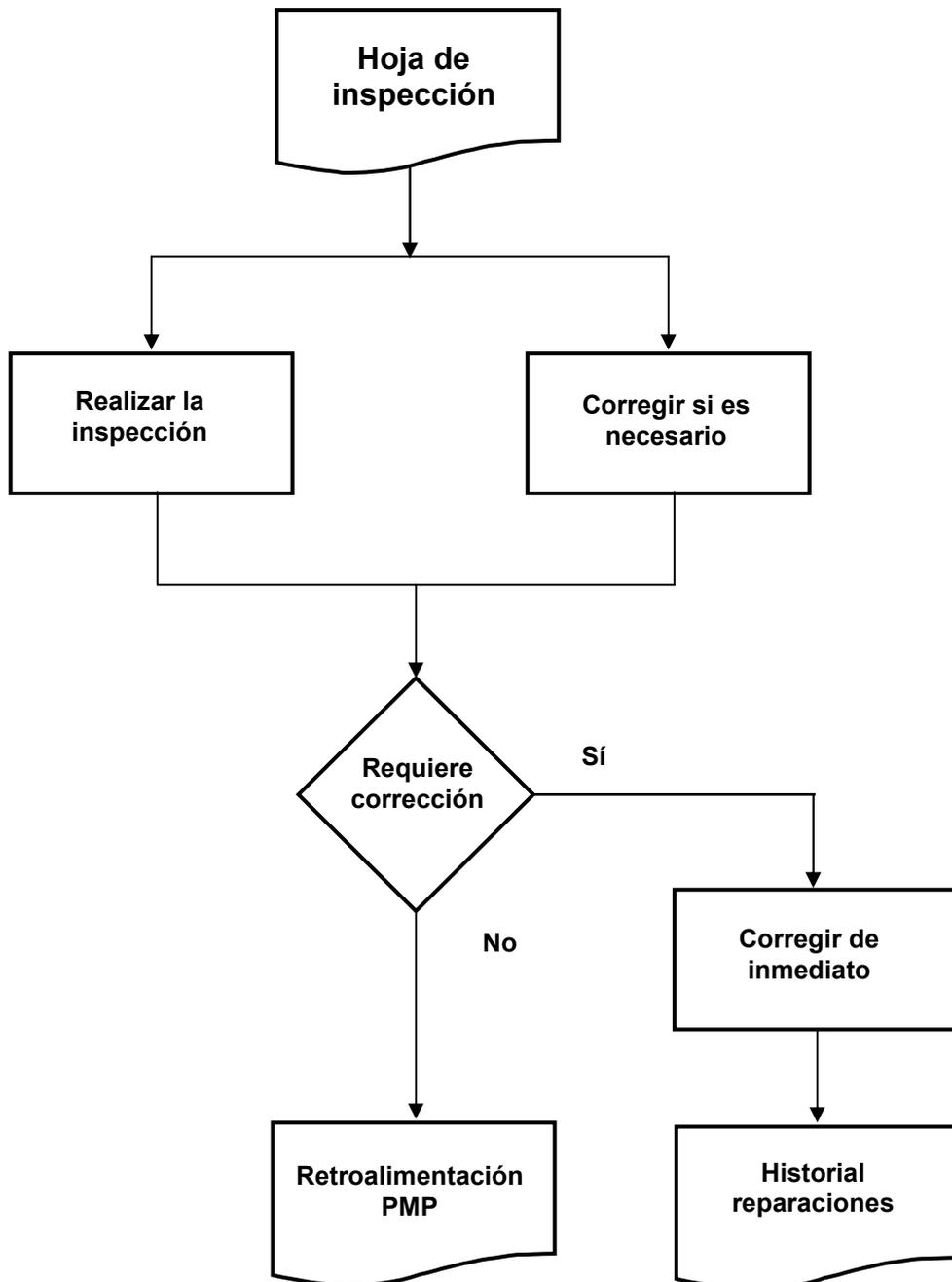
- Bajo este tipo de orientación, el operario cambia el componente sin mayor análisis.

“Flujograma de procedimientos – orientación de la inspección”

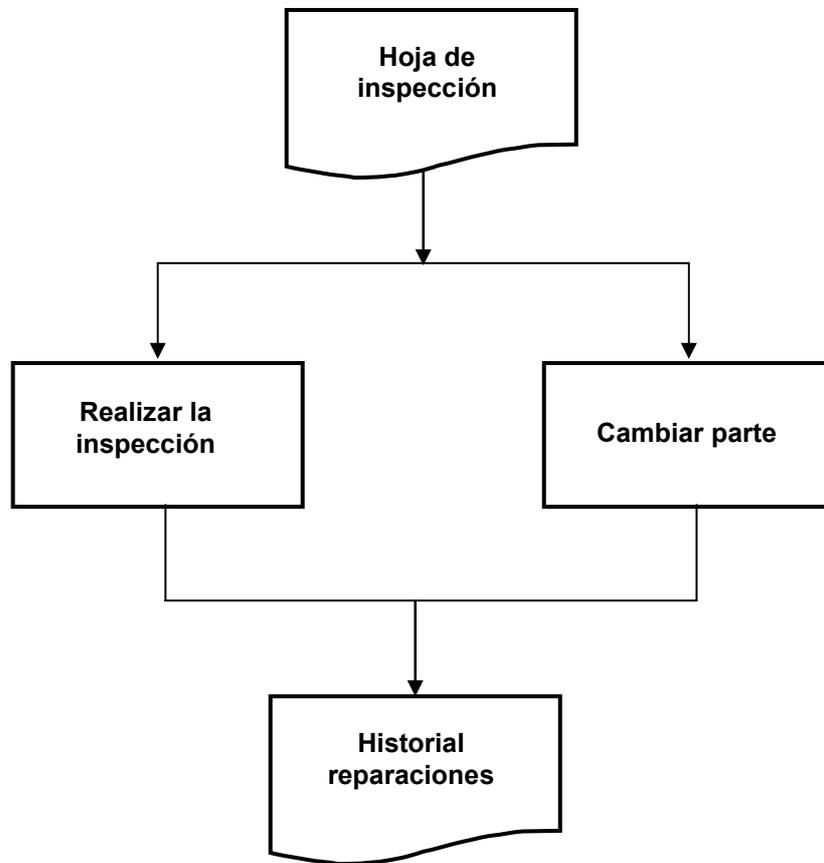
**1. Reportar:**



**2. Corregir si es necesario:**



**3. Cambiar:**



Los flujogramas anteriores representan en forma resumida, el concepto y procedimiento de la orientación de cada inspección o rutina de mantenimiento preventivo que el técnico de cada especialidad (mecánico, eléctrico, refrigeración, lubricación) debe ejecutar y analizar.

### **3.2 Objetivos generales:**

- Disminuir y prevenir futuras fallas de las máquinas y equipos que comprenden las líneas de producción de la Planta Jugo Piña.
- Aumentar la eficiencia y coordinación del departamento de mantenimiento de la empresa Florida Products S.A.
- Minimizar los paros por fallas de los equipos durante la producción.

### **3.3 Objetivos específicos:**

- Lograr y mantener una disponibilidad de casi un 95% de las máquinas y equipos de producción, a partir de la disminución de las fallas a corto plazo.
- Aumentar la vida útil de las máquinas.
- Lograr que las máquinas funcionen eficientemente garantizando condiciones seguras de operación.
- Servir como medio administrador y controlador de los costos en la gestión de mantenimiento.

### 3.4 Aspectos generales Florida - Products

#### “Situación actual del mantenimiento en Florida Products S.A”

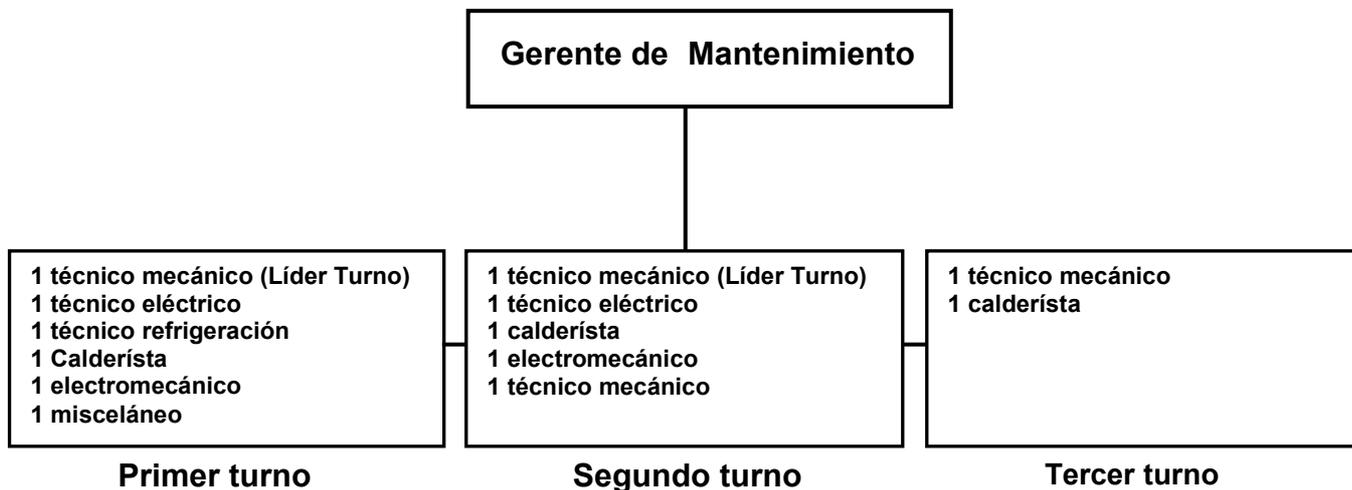
Actualmente, la gestión de mantenimiento comprende el mantenimiento correctivo y programado en las plantas de producción de banano y piña.

Presenta una estructura y documentación definida, desde el personal técnico (eléctrico, mecánico, refrigeración, ingeniería) como la infraestructura y sistema de documentación (orden trabajo, requisición de bodega, etc) necesaria para el funcionamiento y eficiencia del departamento.

Es a partir de estas premisas, donde se pretende innovar la gestión del mantenimiento con el diseño e implementación de un programa de mantenimiento preventivo para la planta de piña (**PMP**).

Cabe señalar que la planta de producción de jugo concentrado de piña, presenta alrededor de 7 meses de haber iniciado las operaciones de producción.

Seguidamente se adjunta el organigrama del departamento de mantenimiento para la empresa Florida Products S.A



**Organigrama del Departamento de Mantenimiento – Florida Products S.A**

**Nota<sub>1</sub>:** Cada turno comprende 8 hrs. ordinarias; 6:00 AM – 2:00 PM – 10:00 AM – 6:00 AM; de Lunes a Sábado.

### **3.5 Codificación de secciones y máquinas - Planta de piña**

A continuación se presenta la codificación de la **planta de piña** por secciones; para que contribuya a localizar de una manera más rápida y ordenada las máquinas y equipos que el técnico debe inspeccionar, en las rutinas de mantenimiento preventivo.

**Tabla #1: “Codificación de las plantas de producción en  
Florida Products S.A”**

<b>Código</b>	<b>Planta</b>
PP	Planta de piña
PB	Planta de banano

Es importante destacar que el diseño del PMP también visualiza a futuro la posibilidad de incluir la planta de banano; de tal manera que tanto el programa en Access “**Control y ejecución del PMP – Florida Products S.A**” como la documentación, permiten más adelante la implementación del PMP a la planta de producción anteriormente señalada.

**Tabla #2: “Codificación de las secciones de producción en  
Florida Products S.A”**

<b>Código Sección</b>	<b>Sección</b>
PP- RP	Recepción de piña
PP- LS	Lavado y selección de piña
PP- EJ	Extracción de jugo
PP- ACE	Área de centrifugas
PP- ECA	Elaboración de concentrado jugo A
PP- SRA	Sistema de refrigeración amoniaco
PP- ECB	Elaboración de concentrado jugo B
PP- EJA	Empaque de jugo A
PP- EJB	Empaque de jugo B

**Nota<sub>2</sub>:** El formato de cada sección relaciona la sección con la respectiva planta.

Seguidamente se presentan las máquinas y equipos de la planta de piña con su respectiva codificación.

Cabe señalar que la codificación de las máquinas se realizó tomando la forma más sencilla del código, para el manejo y utilización de la persona que se encargará de controlar y monitorear el PMP.

**Tabla #3: “Codificación de las máquinas - sección: **Recepción de piña**”**

<b>Sección</b>	<b>Recepción de piña</b>
<b>Código</b>	<b>Máquina</b>
PP-RP-BC1	Bomba centrífuga #1 - Canal piña
PP-RP-BC2	Bomba centrífuga #2 - Canal piña
PP-RP-BC3	Bomba centrífuga #3 - Canal piña
PP-RP-SRP	Banda recepción piña
PP-RP-BAC	Banda alimentadora cangilones
PP-RP-ECA	Elevador de cangilones

**Tabla #4: “Codificación de las máquinas - sección: **Lavado y recepción**”**

<b>Sección</b>	<b>Lavado y recepción</b>
<b>Código máquina</b>	<b>Máquina</b>
PP- LS- BT1	Banda transportadora #1
PP- LS- BT2	Banda transportadora #2
PP- LS- SRA	Sistema rociador de agua

**Tabla #5: “Codificación de las máquinas - sección: Extracción de jugo”**

<b>Sección</b>	<b>Extracción de jugo</b>
<b>Código máquina</b>	<b>Máquina</b>
PP- EJ- BSE	Banda de selección piña
PP- EJ- SCP	Sistema conductor de piña
PP- EJ- PM1	Extractor jugo Pine-Matic #1
PP- EJ- PM2	Extractor jugo Pine-Matic #2
PP- EJ- FJA	Finisher jugo A
PP- EJ- PCP	Prensa Rietz jugo B
PP- EJ- FJB	Finisher jugo B
PP- EJ- DCD	Ductos de cáscara y desecho

**Tabla #6: “Codificación de las máquinas - sección: Área de centrífugas”**

<b>Sección</b>	<b>Área de centrífugas</b>
<b>Código</b>	<b>Máquina</b>
PP-ACE-TJAB	Tanques primarios jugo A y B
PP-ACE-CJA	Centrífuga AlfaLaval - jugo A
PP-ACE-CJB	Centrífuga Waukesha - jugo B
PP-ACE-BAPV	Bomba centrífuga APV - Tanque jugo A

**Tabla #7: “Codificación de las máquinas - sección:  
elaboración concentrado jugo A”**

<b>Sección</b>	<b>Elaboración concentrado jugo A</b>
<b>Código</b>	<b>Máquina</b>
PP-ECA-EVA	Evaporador jugo A
PP-ECA-BJ1	Blender #1 jugo A concentrado
PP-ECA-BJ2	Blender #2 jugo A concentrado
PP-ECA-BJ3	Blender #3 jugo A concentrado
PP-ECA-BCW1	Bomba de lóbulos Waukesha - Blenders jugo A
PP-ECA-BCA	Bomba Centrífuga AlfaLaval - Limpieza jugo A
PP-ECA-TCP	Sistema de condensado de esencia

**Tabla #8: “Codificación de las máquinas - sección:  
Sistema de refrigeración en amoniaco”**

<b>Sección</b>	<b>Sistema de refrigeración en amoniaco</b>
<b>Código</b>	<b>Máquina</b>
PP-SRA-IP1	Intercambiador #1 tipo inundado (glycol - amoniaco - blender)
PP-SRA-IP2	Intercambiador #2 tipo placas (glycol - amoniaco - esencia)
PP-SRA-CA	Compresor de tornillo (aire comprimido)
PP-SRA-CRA	Compresor VILTER recíprocante de pistones (R-717)
PP-SRA-RBP	Recibidor de baja presión R-717
PP-SRA-CON	Condensador R717

**Tabla #9: “Codificación de las máquinas - sección:  
Elaboración jugo concentrado B”**

<b>Sección</b>	<b>Elaboración jugo concentrado B</b>
<b>Código</b>	<b>Máquina</b>
PP-ECB-IP1	Intercambiador placas #1(jugo B - vapor)
PP-ECB-IP4	Intercambiador placas #4 (jugo B - agua fría)
PP-ECB-TER	Termocompresor - Evaporador APV
PP-ECB-BCL	Bomba centrífuga G&L - Limpieza jugo B
PP-ECB-BLW1	Bomba de lóbulos Waukesha - Blenders jugo B
PP-ECB-BC1	Bomba centrífuga #1 - Intercambiador #1
PP-ECB-BC2	Bomba centrífuga #2 - Hidrociclones
PP-ECB-BC3	Bomba centrífuga #3 - Trasiego condensado
PP-ECB-BC4	Bomba centrífuga #4 - Trasiego condensado
PP-ECB-BC5	Bomba centrífuga #5 - Trasiego jugo B concentrado
PP-ECB-BC6	Bomba centrífuga #6 - Trasiego jugo B concentrado
PP-ECB-BJB1	Blender #1 jugo B concentrado
PP-ECB-BJB2	Blender #2 jugo B concentrado
PP-ECB-BJB3	Blender #3 jugo B concentrado
PP-ECB-BJB4	Blender #4 jugo B concentrado
PP-ECB-BC9	Bomba centrífuga #9- Tanque #8 de jugo B
PP-ECB-BC8	Bomba centrífuga #8- Retorno de agua
PP-ECB-BC7	Bomba centrífuga #7- Retorno de agua

Todas las máquinas anteriormente expuestas, son las máquinas y equipos que se incluyeron al programa de mantenimiento preventivo para la planta de piña; las cuáles presentan su respectivo “**manual preventivo**” y una pequeña ficha

técnica en el encabezado de las hojas de inspección (ver “*Manuales PMP*” en el anexo).

### **3.6 Disponibilidad para el PMP – Planta de piña**

#### **Tiempo Actual:**

Para el mantenimiento preventivo de la planta de piña, se tendrá:

- 1 técnico de para especialidad mecánica.
- 1 técnico de para especialidad electricidad.
- 1 técnico de para especialidad refrigeración.

Se logró preliminarmente disponer de 1,5 hr por cada turno de trabajo (6:00 AM – 2:00 PM y 2:00 PM – 10:00 PM).

Esto se interpreta de la siguiente manera:

$$3hrs \Rightarrow 180 \text{ min .mecánico / día}$$

$$1semana (6días) \Rightarrow 1080 \text{ min .mecánico / semana}$$

$$3hrs \Rightarrow 180 \text{ min .eléctrico / día}$$

$$1semana (6días) \Rightarrow 1080 \text{ min .eléctrico / semana}$$

$$2hrs \Rightarrow 120 \text{ min .refrigeración / día}$$

$$1semana(6días) \Rightarrow 720 \text{ min .refrigeración / semana}$$

Con los tiempos de cada inspección del manual preventivo de cada máquina, se distribuye las inspecciones en el “**Gantt anual de grupos inspección por sección productiva**”.

El análisis previo de las inspecciones por sección productiva, arroja la conclusión de un faltante en el tiempo asignado por semana en la **especialidad mecánica**, para realizar a cabalidad y por completo todas las inspecciones recomendadas.

Ajunto se detalla la distribución actual de la disponibilidad según la especialidad para cada una de las sección productivas (*Ver anexo*).

Una posible solución es contar con un mecánico que se dedica a las rutinas preventivas por lo menos 5 hr por día.

$$5hrs \Rightarrow 300 \text{ min .mecánico / día}$$

$$1\text{semana (6días)} \Rightarrow 1800 \text{ min .mecánico / semana}$$

También existen dos soluciones viables (ver “Análisis de costos PMP” - anexo) para compensar las 2 hr diarias faltantes para la especialidad mecánica, las cuáles son:

1. Asignar rutinas preventivas (2 hr) al mecánico del turno nocturno.
2. Contratar un ayudante misceláneo para labores preventivas que involucren lubricación de las máquinas y equipos.

Es en este punto, donde se analizará económicamente los costos del PMP desde el costo fijo de mano de obra directa (**MOD**).

Cabe señalar que para conocer el costo total del PMP, se debe estimar los repuestos que se utilizarían para las inspecciones preventivas con orientación “Cambiar”o “Cambiar si es necesario”.

De tal manera, que debido a la falta de tiempo no se llevó a cabo un estudio de costos por repuestos del PMP.

En parte dificulta la labor, debido a la carencia de los parámetros de mínimos y máximos para ciertos repuestos de las máquinas críticas de producción.

### **3.7 Análisis y diseño del gantt anual por sección productiva – Planta de piña**

En teoría, cuando se plantea y se diseña un **“gantt anual de grupos de inspección”** se dispone de 52 semanas en el año (período del PMP).

Para el caso de Florida Products, se decidió plantear cada gantt anual con 48 semanas; esto básicamente a que existen 4 semanas en el año donde, dicha semana termina el **mes “x”** y empieza inmediatamente el siguiente **mes “xx”**.

Por esta razón y dada la sugerencia del Ing. Ronald Porras (gerente de mantenimiento), de utilizar estas semanas para otras actividades como:

- Labores de mantenimiento programado.
- Realizar inspecciones preventivas que no se llevaron a cabo por imprevistos o por faltante de tiempo.

Para cada sección de producción de la planta de piña, se realizaron los **“gantts anuales por grupos de inspección”** por especialidad: *mecánica, eléctrica* y en algunas *refrigeración*.

A continuación se detallan las secciones críticas “**especialidad mecánica**” que fue necesario realizar un nuevo gantt anual con la disponibilidad recomendada por semana.

**Tabla #10: “Secciones de producción con faltante de disponibilidad en la especialidad mecánica”**

<b>CS</b>	<b>Sección</b>	<b>Mecánica crítica</b>
PP- RP	Recepción de piña	<b>x</b>
PP- LS	Lavado y selección de piña	
PP- EJ	Extracción de jugo	<b>x</b>
PP- ACE	Área de centrifugas	<b>x</b>
PP- ECA	Elaboración de concentrado jugo A	<b>x</b>
PP- SRA	Sistema de refrigeración amoniaco	
PP- ECB	Elaboración de concentrado jugo B	<b>x</b>
PP- EJA	Empaque de jugo A	
PP- EJB	Empaque de jugo B	

**Nota<sub>3</sub>:** La “**x**” corresponde a las secciones críticas con la disponibilidad actual de la especialidad mecánica (1080 min. Mecánico / Semana).

**Nota<sub>4</sub>:** Como solución se elaboraron gantts anuales con la disponibilidad recomendada en la especialidad mecánica (1800 min. Mecánico / Semana).

### **3.8 Costo de mano obra directa (MOD) – PMP Planta de piña**

Como todo proyecto que se pretende desarrollar, es necesario una justificación o estimación de los costos variables o fijos, de producción, ventas, etc.

Para efectos prácticos, el costo de implementar un programa de mantenimiento preventivo se determina a partir de la siguiente fórmula:

$$CT = MOD + REP \longrightarrow$$

**Donde:**

- **CT:** Costo total del PMP
- **MOD:** Costo por mano obra directa
- **REP:** Costo por repuestos requeridos

Es en este punto, donde existe la limitante (por falta de tiempo del diseñador y la gran cantidad de máquinas y equipos) de realizar un estudio de repuestos requeridos por máquina.

Y para efectos del presente análisis del costo del PMP, se tomará solamente el **gasto fijo por mano de obra directa (MOD)**; profundizando en la mejor opción económica para determinar si se contrata un mecánico o un ayudante de lubricación.

#### **Opción #1: “Análisis con la disponibilidad mecánica 1800 min. Mecánico / Semana”**

Como se mencionó anteriormente, las especialidades eléctricas y refrigeración no tienen problemas de disponibilidad; por tal motivo, se realizará el siguiente estudio económico.

Según los cálculos realizados (ver “**Costos semanales y mensuales MOD – PMP en el anexo**”), se presenta la siguiente tabla resumen de los costos.

**Tabla #11: “Tabla resumen de costos semanal bruto MOD PMP – Planta de piña”**

<b>Costo total semanal de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢5 483,33
Lavado y selección de piña	¢3 383,33
Extracción de jugo	¢9 083,33
Área de centrifugas	¢6 083,33
Elaboración de concentrado jugo A	¢8 625,00
Sistema de refrigeración en amoniaco	¢3 500,00
Elaboración de concentrado jugo B	¢9 716,67
<b>Total semanal</b>	<b>¢45 875,00</b>

**Nota<sub>5</sub>:** El Costo total de MOD semanal bruto (**opción #1**) no incluyen el 48,83% por concepto de cargas sociales e incluye la especialidad mecánica, eléctrica y refrigeración.

**Tabla #12: “Tabla resumen del costo mensual bruto MOD PMP – Planta de piña”**

<b>Costo total mensual de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢21 933,33
Lavado y selección de piña	¢13 533,33
Extracción de jugo	¢36 333,33
Área de centrifugas	¢24 333,33
Elaboración de concentrado jugo A	¢34 500,00
Sistema de refrigeración amoniaco	¢14 000,00
Elaboración de concentrado jugo B	¢38 866,67
<b>Total mensual</b>	<b>¢183 500,00</b>

**Nota<sub>6</sub>:** El Costo total de MOD mensual bruto (**opción #1**) no incluyen el 48,83% por concepto de cargas sociales e incluye la especialidad mecánica, eléctrica y refrigeración.

**Tabla #13: “Tabla resumen del costo anual bruto MOD PMP – Planta de piña”**

<b>Costo total anual de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢263 200,00
Lavado y selección de piña	¢162 400,00
Extracción de jugo	¢436 000,00
Área de centrifugas	¢292 000,00
Elaboración de concentrado jugo A	¢414 000,00
Sistema de refrigeración en amoniaco	¢168 000,00
Elaboración de concentrado jugo B	¢466 400,00
<b>Total anual</b>	<b>¢2 202 000,00</b>

**Nota<sub>6</sub>:** El Costo total de MOD anual bruto (opción #1) no incluyen el 48,83% por concepto de cargas sociales e incluye la especialidad mecánica, eléctrica y refrigeración.

El análisis anterior no toma en cuenta que el dinero va perdiendo valor adquisitivo con el tiempo; es decir, tener capital significa que el mismo genera dinero, sino que depende de cómo ese dinero o capital se invierta en la mejor opción posible, para generar ganancias.

Es aquí donde se iniciará un pequeño análisis financiero para comparar el costo real a valor futuro (1 año) del PMP desde el punto de vista mano obra, tomando la tasa de rendimiento 9.5% anual en dólares de la Planta de piña y un certificado a corto plazo o anualidad de un banco estatal o privado con una tasa de interés 18% anual capitalizable mensualmente.

### **3.8.1 Análisis de inversión aplicando conceptos de ingeniería económica para opciones #1 y #2**

Como toda inversión en proyectos, es necesario tener varias opciones para invertir el capital de la empresa.

Es la intención del departamento de mantenimiento, respaldar el programa de mantenimiento preventivo tanto desde el punto de vista de la ingeniería como financiero; lo que conlleva a la disminución de paros imprevistos en las máquinas, traduciendo lo anterior en mayor producción de jugo de piña y un incremento de la vida útil del equipo.

A continuación se presentan las posibles opciones a futuros de inversión por parte de gerencia, como por ejemplo:

- ✓ Invertir el monto semanal (aplicadas las cargas sociales) en una cuenta corriente o certificado de un banco, que ofrezca un interés anual del 18%.
- ✓ Invertir el monto semanal de **¢68 275** (ver tabla #15) en mano de obra directa para mantenimiento preventivo de la planta de piña.

**Tabla #14: “Costos que debe asumir Florida Products en MOD PMP – Planta de piña”**

<b>Costos sobre la mano de obra directa (MOD)</b>	
Cargas sociales	22,00%
Aguinaldo	8,33%
Cesantía	8,33%
Vacaciones	4,17%
Riesgos de trabajo (póliza)	6,00%
<b>Total</b>	<b>48,83%</b>

**Nota<sub>7</sub>:** Para calcular el costo total real de MOD (**opción #1 y #2**), es necesario incluir los porcentajes de cargas sociales que la empresa clasifica como gastos fijos.

**Tabla #15: “Tabla resumen del costo semanal real MOD  
PMP – Planta de piña opción #1”**

<b>Costo total semanal de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢8 160,85
Lavado y selección de piña	¢5 035,42
Extracción de jugo	¢13 518,73
Área de centrifugas	¢9 053,83
Elaboración de concentrado jugo A	¢12 836,59
Sistema de refrigeración en amoniac	¢5 209,05
Elaboración de concentrado jugo B	¢14 461,32
<b>Total semanal</b>	<b>¢68 275,76</b>

**Nota<sub>8</sub>:** El Costo real semanal real MOD (opción #1) por sección productiva incluye los porcentajes por concepto de cargas sociales (48,8%) especificadas en la tabla #14.

**Tabla #16: “Tabla resumen del costo mensual real MOD  
PMP – Planta de piña opción #1”**

<b>Costo total mensual de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢32 643,38
Lavado y selección de piña	¢20 141,66
Extracción de jugo	¢54 074,90
Área de centrifugas	¢36 215,30
Elaboración de concentrado jugo A	¢51 346,35
Sistema de refrigeración amoniac	¢20 836,20
Elaboración de concentrado jugo B	¢57 845,26
<b>Total mensual - Planta de piña</b>	<b>¢273 103,05</b>

**Nota<sub>9</sub>:** El costo real mensual real MOD (opción #1) por sección productiva incluye los porcentajes por concepto de cargas sociales (48,8%) especificadas en la tabla #14.

**Tabla #17: “Tabla resumen del costo anual real MOD  
PMP – Planta de piña opción #1”**

<b>Costo Total Anual de MOD en Planta Piña</b>	
Recepción de piña	¢391 720,56
Lavado y selección de piña	¢241 699,92
Extracción de jugo	¢648 898,80
Área de centrifugas	¢434 583,60
Elaboración de concentrado jugo A	¢616 156,20
Sistema de refrigeración en amoniac	¢250 034,40
Elaboración de concentrado jugo B	¢694 143,12
<b>Total Anual - Planta Piña</b>	<b>¢3 277 236,60</b>

**Nota<sub>10</sub>:** El costo real anual real MOD (opción #1) por sección productiva incluye los porcentajes por concepto de cargas sociales (48,83%) especificadas en la tabla #14.

Es necesario mencionar, que el análisis económico anterior se refiere a la opción #1, la cuál consiste en una disponibilidad de 1800 minutos. Mecánico por semana; ya sea asignado 3 horas de mantenimiento preventivo en los turnos de la mañana y la tarde, y 2 horas en el turno de la noche.

Como se especificó anteriormente, la intención es visualizar no como un gasto sino una inversión la mano de obra directa (MOD) para el mantenimiento preventivo, que se refleja en el incremento de la vida útil de las máquinas y aumento del rendimiento de producción.

**Tabla #18: “Valor futuro de inversión tomando el rendimiento anual de la Planta de piña opción #1”**

<b>Inversión a futuro (48 semanas) de la Planta de piña</b>	
Rendimiento anual de Planta de piña (\$)	9,5%
Rendimiento semanal de Planta de piña (\$)	0,2%
Anualidad en colones (semanal)	¢68 275,76
Anualidad en dólares (semanal)	\$185,53
Número de semanas (1 año)	48
1 dólar es equivalente en colones	¢368,00
<b>Valor futuro inversión (\$)</b>	<b>\$9 332,59</b>
<b>Valor futuro inversión (¢)</b>	<b>¢3 434 392,75</b>

**Nota<sub>11</sub>:** El cálculo matemático de valor futuro tomó como base la tasa de cambio de dólares – colones de **¢368,00** a finales del mes de setiembre 2002.

**Tabla #19: “Valor futuro de inversión tomando la opción de invertir en un sistema bancario con  $i = 18\%$  anual en colones opción #1”**

<b>Inversión a futuro (48 semanas) certificado a plazo</b>	
Rendimiento anual de Planta de piña (¢)	<b>18,0%</b>
Rendimiento semanal de Planta de piña (¢)	<b>0,375%</b>
Anualidad en colones (semanal)	<b>¢68.275,76</b>
Número de semanas (1 año)	<b>48</b>
1 dólar es equivalente en colones	<b>¢368,00</b>
<b>Valor futuro inversión (\$)</b>	<b>\$9.737,43</b>
<b>Valor futuro inversión (¢)</b>	<b>¢3.583.373,78</b>

**Nota<sub>12</sub>:** El cálculo matemático de valor futuro tomó como base la tasa de cambio de dólares – colones de **¢368,00** a finales del mes de setiembre 2002.

### **Análisis general:**

Si se compara los valores a futuro de las tablas #18 y #19, es evidente observar una diferencia de dinero invertido **\$404,84** a un plazo de un año (48 semanas), esto evidencia una pequeña diferencia en las utilidades de la inversión desde el punto de vista financiero; pero desde la perspectiva de la ingeniería en mantenimiento, se gana sustancialmente incrementando el funcionamiento y disponibilidad de las máquinas de producción mediante la ejecución e implementación del programa de mantenimiento preventivo.

### **Opción #2: “Propuesta para contratar un misceláneo para labores de lubricación”**

Otra opción que reduciría los costos de mano de obra, es la contratación de un ayudante misceláneo que se destine a labores de lubricación, y como ayudante de la especialidad mecánica.

A continuación se adjunta la información – resumen de la estimación de los costos fijos MOD para la opción #2.

**Tabla #20: “Costo de la MOD por especialidad – Florida Products”**

<b>Costo de mano obra directa (MOD)</b>	
Costo de la hora técnico mecánico	<b>¢900,00</b>
Costo de la hora técnico Eléctrico	<b>¢950,00</b>
Costo de la hora técnico refrigeración	<b>¢700,00</b>
Costo de la hora ayudante misceláneo	<b>¢450,00</b>

**Nota<sub>13</sub>:** El valor de hora laboral por especialidad corresponde a la hora laboral ordinaria.

**Tabla #21: “Tabla resumen del costo semanal real MOD  
PMP – Planta de piña opción #2”**

<b>Costo Total Semanal de MOD en Planta Piña</b>	
Recepción de Piña	¢7 267,87
Lavado y Selección de Piña	¢4 142,44
Extracción de Jugo	¢10 170,05
Área de Centrifugas	¢7 379,49
Elaboración de Concentrado Jugo A	¢11720,36
Sistema de Refrigeración Amoniaco	¢5 209,05
Elaboración de Concentrado Jugo B	¢12 228,87
<b>Total Semanal Planta Piña</b>	<b>¢58 118,12</b>

**Nota<sub>14</sub>:** El costo real semanal real MOD (opción #2) por sección productiva incluye los porcentajes por concepto de cargas sociales (48,8%) especificadas en la tabla #14.

Si se compara el costo real semanal MOD de **¢68.275,76** para la Planta de piña opción #1 (ver tabla #15), con el mismo valor semanal MOD de **¢58 118,12** para la Planta de piña opción #2; el ahorro será de **¢10 150.00** aproximadamente.

Por tal razón, es conveniente presentar el gasto fijo total mensual y anual.

**Tabla #22: “Tabla resumen del costo mensual real MOD  
PMP – Planta de piña opción #2”**

<b>Costo total mensual de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢29 071,46
Lavado y selección de piña	¢16 569,74
Extracción de jugo	¢40 680,20
Área de centrifugas	¢29 517,95
Elaboración de concentrado jugo A	¢46 881,45
Sistema de refrigeración en amoniaco	¢20 836,20
Elaboración de concentrado jugo B	¢48 915,46
<b>Total mensual - Planta de piña</b>	<b>¢232 472,46</b>

**Nota<sub>15</sub>:** El costo real mensual real MOD (opción #2) por sección productiva incluye los porcentajes por concepto de cargas sociales (48,8%) especificadas en la tabla #14.

**Tabla #23: “Tabla resumen del costo anual real MOD  
PMP – Planta de piña opción #2”**

<b>Costo total anual de MOD en Planta de piña</b>	
Recepción de piña	¢348 857,52
Lavado y selección de piña	¢198 836,88
Extracción de jugo	¢488 162,40
Área de centrifugas	¢354 215,40
Elaboración de concentrado jugo A	¢562 577,40
Sistema de refrigeración en Amoniaco	¢250 034,40
Elaboración de concentrado jugo B	¢586 985,52
<b>Total anual - Planta de piña</b>	<b>¢2 789 669,52</b>

**Nota<sub>15</sub>:** El costo real mensual real MOD (opción #2) por sección productiva incluye los porcentajes por concepto de cargas sociales (48,8%) especificadas en la tabla #14.

Al comparar el costo fijo anual real MOD – Planta de piña de las dos opciones, se obtiene lo siguiente:

**Tabla #24: “Comparación y ahorro del costo anual real MOD  
PMP – Planta de piña opciones #1 y #2”**

<b>Ahorro anual al contratar al misceláneo - lubricación</b>	
Costo anual MOD sin misceláneo	¢3 277 236,60
Costo anual MOD con misceláneo	¢2 789 669,52
<b>Ahorro</b>	<b>¢487 567,08</b>

De lo anterior, se concluye la gran ventaja tanto económico como de gestión de mantenimiento para contratar un ayudante – lubricador.

### **3.9 Conclusiones del PMP – Planta de piña**

1. La especialidad crítica debido a la falta de disponibilidad es la mecánica; la cuál demanda un tiempo recomendado por semana de 1800 minutos.
2. La especialidad eléctrica y refrigeración no presentan problemas de disponibilidad para la ejecución de las inspecciones preventivas.
3. Para la distribución de las inspecciones en los gantt anuales por sección productiva de la especialidad mecánica (con la disponibilidad actual), se omite casi un 40% las inspecciones programadas semanales, quincenales y mensuales.
4. En algunas semanas de cada gantt anual con la disponibilidad recomendada, las inspecciones semanales y quincenales se omiten para poder realizar otras como mensuales, trimestrales o semestrales.
5. El buen técnico de cualquier especialidad, debe complementar las rutinas mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, con ciertos puntos básicos contenidos en las inspecciones semanales y quincenales.
6. Esto se debe a que existen semanas donde se realizan varias rutinas (semanal, quincenal, mensual, etc) y para efectos de no excederse del tiempo disponible, se omiten ciertas inspecciones.
7. Si se inicia el PMP con la disponibilidad mecánica actual, surge el problema que existen secciones productivas como **“Elaboración jugo concentrado B”**, donde el tiempo asignado no permite realizar las inspecciones preventivas en ciertas máquinas como las 10 bombas centrífugas destinadas al trasiego de jugo B y agua condensada y extraída del jugo de piña B (*ver gantt anual de dicha sección*).
8. Por tal motivo, es indispensable que para la implementación del PMP se resuelva la falta de disponibilidad mecánica.

9. Existen problemas de existencia de repuestos en la bodega centralizada, lo que puede dificultar la disponibilidad de las partes en las máquinas críticas.
  
10. Se evidencia las grandes ventajas tanto económicas como de gestión de mantenimiento en la contratación de un ayudante – lubricador.

### **3.10 Recomendaciones del PMP – Planta de piña**

1. Como primera instancia es la de contratar un técnico mecánico con experiencia en máquinas y equipos de industria alimenticia; dedicando como mínimo 5 horas diarias (1800 min. mecánico / semana) a las inspecciones preventivas.
2. Otras maneras de resolver el problema de disponibilidad mecánica para la Planta de Piña son:
  - Como existe una disponibilidad actual diaria de 3 horas (1080 min. Mecánico / semana), es posible asignar 2 horas más por día al turno de la noche para mantenimiento preventivo. Cabe señalar que las rutinas de lubricación y ajuste de máquinas se realizarán exclusivamente en jornada diurna.
  - Contratar a un ayudante (misceláneo) para labores de lubricación. De esta manera es posible aliviar sustancialmente el tiempo de los mecánicos actuales; además que el costo por mano de obra es reducido (*Ver “Estudio costos mano obra directa MOD – PMP”*).
3. Llevar un control de la cantidad de inspecciones realizadas versus las inspecciones programadas; para así calcular el porcentaje de trabajo cumplido por concepto de inspecciones preventivas.
4. Se recomienda que el porcentaje de trabajo preventivo realizado sea igual o mayor de 85%.
5. Continuar con el índice de funcionamiento global **“Control de paros por máquina”** el cuál deberá controlarse con las hojas diseñadas previamente (ver anexo).
6. Verificar que exista una retroalimentación de las inspecciones realizadas, y si ameritan ciertas reparaciones (mantenimiento programado) introducir las

información en la opción “**Historial de reparaciones**” presente en la base de datos.

7. Como último aspecto, el encargado de dirigir y controlar las labores del PMP debe ser consciente del alto grado de importancia que tiene el mantenimiento preventivo en la máquinas y equipos de la Planta de piña.
  
8. Se recomienda un “**Estudio de máximos y mínimos para repuestos**” de las máquinas de producción críticas.

### 3.10 Manual del usuario – Programa PMP

#### “Control y ejecución del PMP – Florida Products”

El presente manual presenta la descripción correspondiente a cada una de las opciones previamente diseñadas en el programa Access 2000.

La base de datos comprende las siguientes aplicaciones:

- **Tablas:** es donde se almacenan los datos.
- **Consultas:** utilizadas para desplegar la información específica que el usuario necesita, a través de parámetros como: *código de planta, código de sección, código de máquina, código del mes y código de la semana.*
- **Formularios:** destinados para el ingreso de los datos como: nuevas máquinas por sección productiva, meses del año, inspecciones por máquina, datos para el historial de reparaciones, etc.
- **Informes:** Información lista para imprimir, lo que comprenden reportes de: inspecciones preventivas por máquina, historial de reparaciones y máquinas existentes por planta de producción.

#### “Menú principal”



El menú anterior contiene las opciones que presenta la base de datos, donde se subdivide en aplicaciones para estimar: las *inspecciones preventivas*

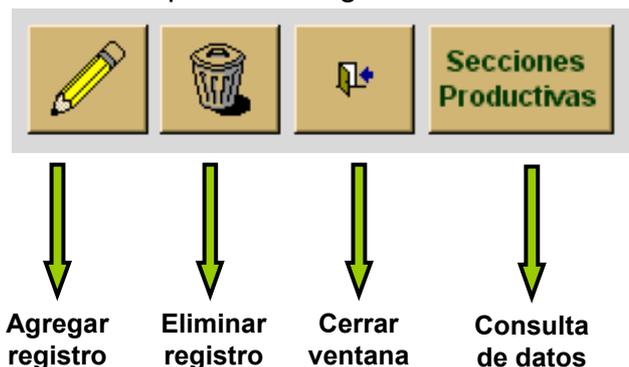
semanales por máquina – sección productiva de acuerdo con la programación de cada “Gantt anual por grupos de inspección”.

### Submenú: “Actualización general”



- **Ingreso de meses del año:** es un formulario destinado al ingreso de los meses de cada año.
- **Ingreso de semanas del mes:** es un formulario para el ingreso de las semanas respectivos de cada mes.
- **Ingreso de especialidad - técnicos:** este formulario permite asignar las especialidades (eléctrica, mecánica, refrigeración, etc) con que cuenta el departamento de mantenimiento.
- **Ingreso de técnicos de mantenimiento:** a través de este formulario, es posible tener los datos de cada uno de los técnicos del departamento.

Cabe señalar que en cada formulario se adjuntan tres o cuatro botones de comando, los cuales desempeñan las siguientes funciones:



## Submenú: “Actualizaciones de planta – sección – máquina”



- **Nuevas plantas de producción:** este formulario permite asignar nuevas plantas de producción, las cuales presentan secciones.
- **Nuevas secciones de producción:** este formulario permite ingresar nuevas secciones de producción; donde se ubican las máquinas y equipos de la planta .
- **Nuevas máquinas por sección:** a través de este formulario es posible asignar nuevas máquinas o equipos de producción.
- ✓ **Nota:** Los botones que ejecutan “**Consultas**” sobre información ingresada, requieren de parámetros como: *Código planta*, *Código máquina*, *Código mes* y *Código semana*.

### Formato de los parámetros:

- ✓ Código planta: **11**
- ✓ Código sección: **11-111**
- ✓ Código máquina: **11-111-1111**
- ✓ Código mes: **11-1111**
- ✓ # semana: **1**
- ✓ Código especialidad: **11**

## Submenú: “Control del mantenimiento preventivo - máquina”



- **Ingreso de inspecciones por máquina:** este formulario permite asignar individualmente y por cada semana del mes, las inspecciones preventivas programadas para cada máquina.
- **Ingreso de datos – historial de reparaciones:** permite el ingreso de la información de cada reparación efectuada a las máquinas.

### Submenú: “Consultas PMP”

Este submenú permite ejecutar consultas relacionadas a los datos existentes de inspecciones por máquina e historial de reparaciones.



- **Inspecciones preventivas máquina – semana:** brinda la información detallada de cada rutina preventiva semanal asignada a cada máquina.
  - ✓ Código planta: **11**
  - ✓ Código especialidad: **11**
  - ✓ Código mes: **11-1111**
  - ✓ # semana: **1**
  
- **Historial de reparaciones por máquina:** muestra las reparaciones correctivas, programadas o preventivas realizadas a cada máquina.
  - ✓ Código máquina: **11-111-1111**

### Submenú: “Consultas generales”

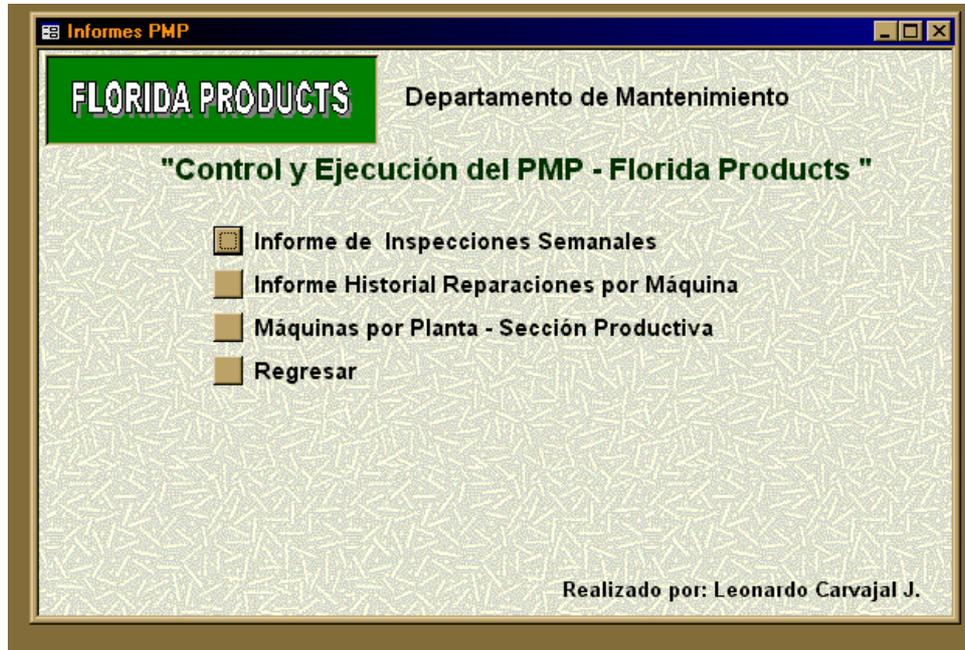
Este submenú permite ejecutar consultas generales sobre: meses del año, máquinas por sección, etc.



- **Plantas existentes:** esta consulta muestra las plantas de producción existentes en Florida Products (*no requiere parámetros*).
- **Secciones por planta:** muestra todas las secciones productivas asignadas por planta de producción (*requiere parámetros*).
  - ✓ Código planta: **11**
- **Máquinas por sección productiva:** esta consulta brinda la información de las máquinas existentes por sección de producción (*requiere parámetros*).
  - ✓ Código sección: **11-111**
- **Meses del año:** brinda la asignación de los meses por el periodo de 1 año (*no requiere parámetros*).
- **Semanas del mes:** muestra las semanas asignadas por mes (*requiere parámetros*).
  - ✓ Código mes: **11-1111**

### Submenú: “Informes del PMP”

En este submenú se centran los informes del programa de mantenimiento preventivo, donde el usuario digita ciertos parámetros, indicando las inspecciones preventivas semanales y lista para imprimir.



- **Informe de inspecciones semanales:** proporciona el listado de inspecciones preventivas por semana, que se deben hacer por sección productiva según la disponibilidad de la empresa (*requiere parámetros*).
  - ✓ Código planta: **11**
  - ✓ Código especialidad: **11**
  - ✓ Código mes: **11-1111**
  - ✓ # semana: **1**
  - ✓ Código especialidad: **11**
  
- **Informe de historial reparaciones - máquina:** brinda las reparaciones efectuadas (correctivas, preventivas, programadas) a cada una de las máquinas (*requiere parámetros*).
  - ✓ Código máquina: **11-111-1111**
  
- **Informe de máquinas por planta – sección productiva:** brinda el reporte de las máquinas existentes por Planta – Sección de Producción. (*requiere parámetros*).
  - ✓ Código planta: **11**

## Capítulo 4

### “Estudio de la carga térmica y revisión del sistema de refrigeración en amoníaco R-717 para la planta piña”

#### 4.1 Marco teórico

##### “El Sistema de refrigeración por compresión de vapor – refrigerante: amoníaco (717)”

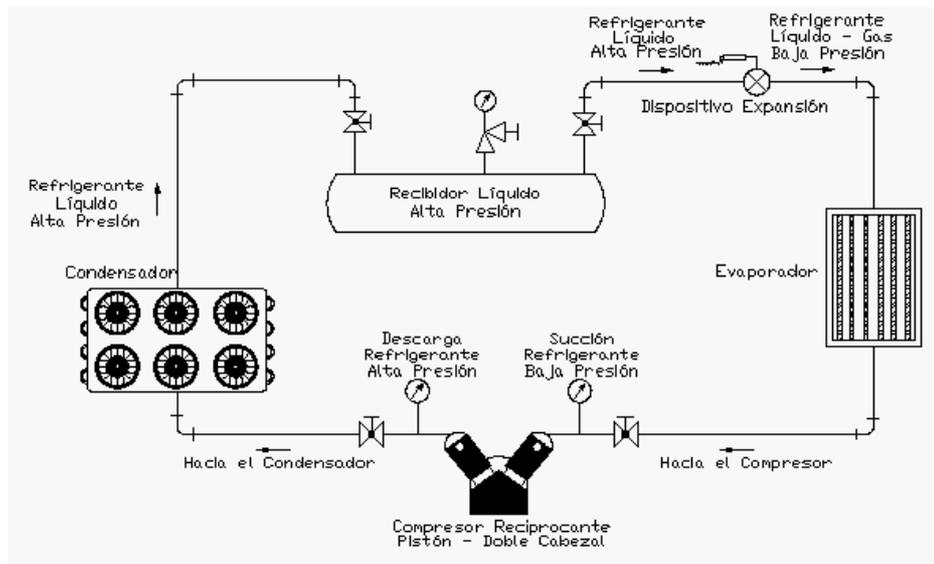
Conforme aumenta la demanda en la producción de productos alimenticios a nivel mundial, las industrias han sido obligadas a mejorar tanto en la ingeniería como en la reducción de costos; las necesidades de conservación de los alimentos.

Es donde la ingeniería ha mejorado los equipos de refrigeración por compresión de vapor, tanto en rendimiento como eficacia para el fin previamente diseñado.

##### **Principio de refrigeración por compresión de vapor:**

Todo sistema de refrigeración por compresión de vapor debe tener los siguientes dispositivos:

- Compresor recíprocante (tornillo o pistón) para el refrigerante adecuado.
- Un dispositivo de expansión térmico (válvula TXV), manual o tubo capilar.
- Un receptor de refrigerante líquido a alta presión.
- Una unidad de evaporación.
- Una unidad de condensación, ya sea por convección natural, forzada o por agua fría.
- Válvulas de corte y reguladoras de presión, manómetros, termopozos, etc.



**Figura #1: “Diagrama de refrigeración por compresión de vapor”**

Básicamente el corazón del sistema de refrigeración (ver figura #1) es el compresor, el cuál succiona el gas refrigerante a baja presión (estado termodinámico) y lo comprime por reducción de volumen, aumentando la presión y temperatura del refrigerante. De esta manera, es posible transferir todo el calor del gas a un medio de convección más frío (aire o agua) que presenta el condensador.

Y debido a la conservación de energía (primera ley de termodinámica) el calor latente del refrigerante (cambio de fase gas - líquido), es transferido al fluido del condensador a través del aumento de su temperatura (calor sensible del aire o agua).

De esta manera, el refrigerante que sale de la unidad condensadora presenta una fase líquida a alta presión, el cuál debido al movimiento de flujo que provoca el compresor, es llevado hacia el receptor de líquido; luego el refrigerante líquido circula por la tubería de alta presión hacia la válvula de expansión térmica o manual. Es importante señalar que el dispositivo de expansión y el compresor determinan los límites del lado de baja y alta presión en el sistema de refrigeración.

Posteriormente, conforme la aplicación de refrigeración demanda mayor carga térmica (incremento de la temperatura interna), el dispositivo de expansión permitirá la estrangulación de mayor cantidad de refrigerante que ingresa al evaporador, disminuyendo la temperatura del agente secundario de enfriamiento (aire o disolución de agua + etilenglycol), y así bajando la temperatura del producto a conservar.

La temperatura de conservación del producto depende de la aplicación:

**Enfriamiento:** Temperatura por **encima** de 0 °C

**Congelación:** Temperatura por **debajo** de 0 °C



**Nota<sub>1</sub>:** Siempre se toma como referencia la temperatura de congelamiento del agua como referencia (0 °C).

## **“Refrigerantes”<sup>1</sup>**

### **Definición**

Es cualquier cuerpo o sustancia que actúa como agente de enfriamiento absorbiendo calor de otro cuerpo o sustancia.

Con respecto al ciclo *compresión-vapor*, el refrigerante es el fluido de trabajo del ciclo el cuál alternativamente se vaporiza y se condensa absorbiendo y cediendo calor, respectivamente. Para que un refrigerante sea apropiado y se le pueda usar en el ciclo antes mencionado, debe poseer ciertas propiedades físicas, químicas y termodinámicas que lo hagan seguro durante su uso.

No existe un refrigerante “ideal” ni que pueda ser universalmente adaptable a todas las aplicaciones. Entonces, un refrigerante se aproximará al “ideal”, solo en tanto que sus propiedades satisfagan las condiciones y necesidades de la aplicación para la que va a ser utilizado.

---

<sup>1</sup> Tomado de internet: Gabriel Caprarulo [caprarulo@ciudad.com.ar](mailto:caprarulo@ciudad.com.ar)

### Propiedades

Para tener el uso apropiado del refrigerante, se busca que los fluidos cumplan con la mayoría de las siguientes características:

- **Baja temperatura de ebullición:** Un punto de ebullición por debajo de la temperatura ambiente (presión atmosférica) en el evaporador.
- **Fácilmente manejable en estado líquido:** El punto de ebullición debe ser controlable con facilidad de modo que su capacidad de absorber calor sea controlable también.
- **Alto calor latente de vaporización:** Cuanto mayor sea el calor latente de vaporización, mayor será el calor absorbido por kilogramo de refrigerante en circulación.
- **No inflamable, no explosivo, no tóxico.**
- **Químicamente estable:** A fin de tolerar años de repetidos cambios de estado.
- **No corrosivo:** Para asegurar que en la construcción del sistema puedan usarse materiales comunes y la larga vida de todos los componentes.
- **Moderadas presiones de trabajo:** las elevadas presiones de condensación mayor a 362 - 407 psig (24,95 – 28,06) bar, requieren un equipo extrapesado. La operación en vacío (menor a 0 psi) introduce la posibilidad de penetración de aire en el sistema.
- **Fácil detección y localización de pérdidas:** Las pérdidas producen la disminución del refrigerante y la contaminación del sistema.
- **Inocuo para los aceites lubricantes:** La acción del refrigerante en los aceites lubricantes no debe alterar la acción de lubricación.
- **Bajo punto de congelación:** La temperatura de congelación tiene que estar muy por debajo de cualquier temperatura a la cuál pueda operar el evaporador.
- **Alta temperatura crítica:** Un vapor que no se condense a temperatura mayor que su valor crítico, sin importar cuál elevada sea la presión. La mayoría de los refrigerantes poseen temperaturas críticas superiores a los 93 °C.

- **Moderado volumen específico de vapor:** Para reducir al mínimo el tamaño del compresor.
- **Bajo costo:** A fin de mantener el precio del equipo dentro de lo razonable y asegurar el servicio adecuado cuando sea necesario.

### **Economía**

Las propiedades más importantes del refrigerante que influyen en su capacidad y eficiencia son:

- El calor latente de evaporación.
- La relación de compresión.
- El calor específico del refrigerante tanto en estado líquido como de vapor.

Excepto para sistemas muy pequeños, es deseable tener un valor alto de calor latente para que sea mínimo el peso del refrigerante circulando por unidad de capacidad.

Cuando se tiene un valor alto del calor latente y un volumen específico bajo en la condición de vapor, se tendrá un gran aumento en la capacidad y eficiencia del compresor, lo que disminuye el consumo de potencia. Y permite el uso de un equipo pequeño y más compacto.

## **“Aspectos generales del refrigerante amoníaco (717)”**

### **Amoniaco**

Aunque el amoníaco es tóxico, algo inflamable y explosivo bajo ciertas condiciones, sus excelentes propiedades térmicas lo hacen ser un refrigerante ideal para fábricas de hielo, para grandes almacenes de enfriamiento, etc., donde se cuenta con los servicios de personal experimentado y donde su naturaleza tóxica es de poca consecuencia.

El amoníaco es el refrigerante que tiene **más alto efecto refrigerante** por unidad de peso.

El punto de ebullición del amoníaco bajo la presión atmosférica estándar es de  $-2,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ , las presiones en el evaporador y el condensador en las condiciones de tonelada estándar es de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  son 34,27 psia (2,33 bar) y 169,2 psia (11,52 bar) respectivamente, pueden usarse materiales de peso ligero en la construcción del equipo refrigerante.

La temperatura adiabática en la descarga es relativamente alta, siendo de  $98,89\text{ }^{\circ}\text{C}$  para las condiciones de tonelada estándar, por lo cuál es adecuado tener enfriamiento en el agua tanto en el cabezal como en el cilindro del compresor.

Con la presencia de humedad, el amoníaco se vuelve corrosivo para los materiales no ferrosos.

El amoníaco no es miscible con el aceite y por lo mismo no se diluye con el aceite del cárter del cigüeñal del compresor. Deberá usarse un separador de aceite en el tubo de descarga de los sistemas de amoníaco.

El amoníaco es fácil de conseguir y es el **más barato** de los refrigerantes. Su estabilidad química, afinidad por el agua y no-miscibilidad con el aceite, hacen al amoníaco un refrigerante ideal para ser usado en sistemas muy grandes donde la toxicidad no es un factor importante.

## **“Comparaciones entre el R717 y el R 22”**

### **Ventajas e inconvenientes**

El peso molecular del R22, (que tiene un átomo de cloro, dos de flúor, uno de hidrógeno y uno de carbono), es redondeado  $1 \times 35 + 2 \times 19 + 1 \times 1 + 12 = 86$  mientras que el del R717 era de 17.

El R717 con su peso molecular de 17, permite velocidades de pistón 2,5 a 3 veces más elevadas que para los refrigerantes halogenados y por lo tanto compresores de menor tamaño.

El costo de refrigerante R717 es menos elevado. El R22 es aproximadamente 6 veces más costoso por kilogramo, que el R717, pero tomando en cuenta el volumen que es lo que nos interesa, como el peso específico del R717 es menor, que el del R22, la relación de precio se convierte en el orden de 11 a 1.

Mejor rendimiento termodinámico en la mayoría de los rangos. El COP o sea la potencia frigorífica generada en relación a la potencia consumida es un 3% mayor para el R717 aproximadamente frente al R22.

Por ser los coeficientes de convección y de transferencia mayores con los refrigerantes de menor peso molecular y siendo el del R717 netamente inferior al del R22, sus coeficientes son mayores para el R717; obteniéndose de esta manera superficies inferiores de transmisión de calor en los condensadores y evaporadores.

## **“Relaciones aproximadas de variables entre el R717 y el R22”**

Es importante comparar ciertas características de los refrigerantes más utilizados en la industria:

- **Calor específico del líquido:** 4 a 1.
- **Calor latente de vaporización:** 6 a 1.
- **Conductividad térmica del líquido:** 5,5 a 1.
- **Viscosidad:** 0,8 a 1.
- **Densidad del líquido:** 0,5 a 1.

Al tener el R717 una temperatura crítica de 132,4 °C frente a 96 °C para el R22 nos permitiría en ciclos del tipo de bomba de calor tener, temperaturas de la fuente caliente más elevadas para el R717 y con ello un nivel de temperatura más alto.

El R717 tiene temperaturas de descarga superiores al R22, por lo tanto, deben aislarse las cañerías de aspiración y evitar trabajar con vapores altamente recalentados, esto es para compresores alternativos; donde la compresión es casi adiabática y no en el caso de compresores a tornillo, en los cuáles el aceite se lleva una parte del calor y se obtienen temperaturas de descarga de los vapores más bajas.

Las fugas de refrigerante en el R717 son ya fácilmente detectables, con la presencia de 5 p.p.m. en el aire, valor que esta lejos de concentraciones que comienzan a ser molestas y que son del orden de 100 p.p.m..

En Alemania hay lugares de trabajo con una jornada de 8 horas, donde se ha fijado una concentración máxima de R717 de 50 p.p.m. en el aire.

Con sistemas de detección automática de fugas para el R717, se suele conectar el sistema automático de ventilación de la sala de máquinas con concentraciones a partir de 500 p.p.m. y en cámaras los sistemas de alarma se suelen activar con concentraciones de 50 a 100 p.p.m.

A presión atmosférica el R717 evapora a  $-33,4^{\circ}\text{C}$  generándose 750 litros de vapores por kg. El R717 se disuelve fácilmente en agua a  $20^{\circ}\text{C}$ ; un litro de agua puede absorber 0,517 kg de R717 que corresponden a 650 litros de vapores.

Al ser el R717 aproximadamente 1,7 veces más liviano que el aire, se eleva y disipa fácilmente en la atmósfera, reaccionando con el anhídrido carbónico de la misma, generando bicarbonato de amonio y neutralizándose.

El R22 es inodoro y más denso que el aire y puede producir efectos letales por desplazamiento del oxígeno en recintos cerrados; como son las bodegas de los barcos frigoríficos; además en presencia de llama, genera fosgeno, un gas altamente venenoso usado en la primera guerra mundial.

El R717 se descompone a  $450^{\circ}\text{C}$ , a más altas temperaturas es inflamable, el límite mínimo de inflamabilidad es del 15 % en aire o sea 150 000 p.p.m. o de 9,2 % de peso de R717 en aire, el índice máximo es de 30,2 % en aire que equivale a 302 000 p.p.m. o 20,1 % en peso en aire.

El calor producido por su combustión no es suficiente para mantener la llama, luego el fuego se extingue si la fuente de ignición es removida.

La inflamación y la explosión no se producen al aire exterior por todo lo que antecede. Durante la segunda guerra mundial, se bombardearon e incendiaron muchos frigoríficos con R717 como refrigerante sin presentarse problemas de este tipo.

El mayor problema se origina debido al pánico de las personas, cuando perciben el olor penetrante del R717 e ignoran los efectos del mismo. Por ello no es recomendable su uso en expansión directa en lugares con alta concentración de personas como son cines, teatros, etc.; pero si se puede usar para el aire acondicionado de dichos locales, usando un fluido intermediario como agua, o diversos tipos de soluciones alcohólicas o salinas.

El R717 no es compatible con el mercurio, el zinc y los compuestos cuprosos, pero lo es con todos los ferrosos y con el aluminio.

El costo del bombeo en instalaciones por recirculado, es mucho menor para el R717, por bombearse menor cantidad para una misma potencia frigorífica, con menor peso específico y con viscosidades menores.

El R717 tiene una tolerancia muy alta a la contaminación con agua, formándose soluciones amoniacales que no obturan con hielo los orificios de expansión, mientras que la presencia de agua en un circuito de R22 genera graves problemas por obturación de las válvulas de expansión por formación de hielo si se trabaja con temperaturas de evaporación inferiores a 0 °C y productos producidos por la descomposición del R22 por presencia del agua con los metales, generando ácidos que alteran los componentes de la instalación.

Otras características son:

- Mejor estabilidad del R717 con los aceites lubricantes.
- Muy buen comportamiento del R717 con los elastómeros.

Las dimensiones de las cañerías y de las válvulas para el R717 son menores para igual potencia frigorífica y demás condiciones., pues en líquido, el gasto másico es del orden de 1 a 7, por ello las cañerías de líquido son menores, y en la aspiración, la relación de diámetros de las cañerías es de aproximadamente 1 a 3.

El R717 no es prácticamente miscible con los aceites frigoríficos, estando las superficies de transferencia prácticamente libres de aceite, mejorándose las mismas por ello.

El R717 no tiene ningún efecto sobre la capa de ozono, ni tampoco en el calentamiento global de la atmósfera.

## **4.2 Objetivo general**

- Realizar un estudio de carga térmica y análisis del sistema de refrigeración en amoníaco para la Planta de piña.

## **4.3 Objetivos específicos**

- Determinar la carga térmica en (BTU/hr o Ton/hr) para las máquinas y equipos que intervienen en la producción de jugo concentrado A y jugo pasteurizado de la Planta de piña.
- Realizar un análisis y revisión de la instalación del sistema de refrigeración en amoníaco para mejorar la capacidad de enfriamiento.
- Analizar si el sistema de refrigeración actual puede rendir la capacidad de enfriamiento para un nuevo tanque de almacenamiento (Blender) de jugo concentrado A de piña con una capacidad de 5000 galones.
- Confeccionar planos en 2D del sistema de refrigeración en amoníaco con sus respectivas aplicaciones de enfriamiento.

## 4.4 Máquinas y equipos

### “Análisis del sistema refrigeración en amoniaco – planta de piña”

Primero es importante explicar las aplicaciones de producción del jugo piña que demandan enfriamiento, a través de una disolución (agente secundario) de **agua + etilenglycol**.

El objetivo del etilenglycol, es de bajar la temperatura de congelación del agua ( menor 0 °C) para hacerla circular por los distintos dispositivos de producción, que transfieren el calor (sensible ó latente) a dicha disolución.

La circulación de la disolución se realiza a través de dos bombas centrífugas de 10 hp (7,45 kW.) y 1 hp (0,746 kW). Posteriormente se detallará las características de las mismas.

Esta disolución de agua + glycol presenta la siguiente concentración por volumen.

**Tabla #1: “Porcentajes de concentración en la disolución agua + glycol”**

<b>Componente</b>	<b>% concentración</b>	<b>Calor específico</b>	<b>Calor esp. disolución</b>
		BTU/lb °F	BTU/lb °F
Etilenglycol	20%	0,52	0,104
Agua	80%	1	0,8
<b>Total</b>	<b>100%</b>		<b>0,909</b>

**Nota<sub>1</sub>:** El etilenglycol es un alcohol que se degrada o evapora con el tiempo y a ciertas condiciones de temperatura; por lo que dicha concentración debe controlarse.

**Nota<sub>2</sub>:** Se obtuvo el calor específico de la disolución agua + glycol multiplicando el aporte (porcentaje) de cada uno con el calor específico obtenidos en la tabla “Propiedades termofísicas” (ver anexo).

**Nota<sub>3</sub>:** El calor específico del agua y etilenglycol se tomaron a las temperaturas de 0 °C y –15 °C respectivamente, y con el concepto de presión constante (Cp).

En la industria alimenticia ( tal es el caso de Florida Products), se exige altas normas de calidad e higiene durante el proceso de producción de jugo concentrado de piña, jugo y puré de banano; por eso es necesario que todos los fluidos (vapor, agua, refrigerantes) no tengan contacto con el producto en proceso.

### **“Máquinas de producción que requieren enfriamiento”**

Como se ha mencionado anteriormente, el estudio de la carga térmica de refrigeración se enfocará en cuatro máquinas o equipos que intervienen en la elaboración del jugo concentrado A de piña.

Las máquinas y equipos son los siguientes:

- 1. Sistema de condensado para esencia de piña - Evaporador TASTE:** su función es la de recibir un flujo másico de esencia de piña (alcohol + agua) en fase gaseosa ( $45^{\circ}\text{C}$ ), y condensarla para luego depositarla ( $20^{\circ}\text{C}$ ) en un tanque enchaquetado de esencia. Dicha esencia es trasegada hacia los tanques de 5000 galones de jugo concentrado A de piña a  $60,6^{\circ}\text{Brix}$ .
- 2. 3 Blenders de jugo concentrado A de piña:** estos tanques de una capacidad de 5000 galones cada uno, almacenan el jugo concentrado previo al empaque en estafiones de 52 galones para exportación. La temperatura de empaque oscila entre  $[0 - 5]^{\circ}\text{C}$ .
- 3. Pasteurizador de jugo A (single strength):** este equipo eleva la temperatura del jugo simple a  $12^{\circ}\text{Brix}$ , casi a punto de ebullición y luego se le aplica un enfriamiento para descartar bacterias restantes en el producto. Cabe señalar que en la sección de enfriamiento del pasteurizador, el jugo A ingresa con un flujo másico determinado a una temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  y sale a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ .
- 4. Tanque enchaquetado de esencia de piña:** destinado para almacenar y enfriar la esencia a una temperatura de  $5^{\circ}\text{C}$  proveniente del sistema de condensado del Evaporador TASTE.

Seguidamente, se presentará los cálculos correspondientes a la carga térmica en toneladas de refrigeración por hora; a partir de datos recopilados por el departamento de producción y la información de los catálogos.

## 4.5 Planteamiento del problema

La planta de producción de piña de la empresa Florida Products produce dos tipos de jugo<sup>2</sup>.

Tabla #2: “Tipos de jugo de piña producidos por Florida Products S.A”

Tipo de Jugo Piña	Concentración	Densidad	Calor específico
	<sup>0</sup> Brix	kg/l	BTU/lb °F
Jugo concentrado A	60,6	1,290	0,88
Jugo concentrado B	60,6	1,290	0,88
Jugo pasteurizado (single strength)	12	1,048	0,88

**Nota<sub>4</sub>:** El jugo de ingreso del evaporador TASTE para producir jugo de piña concentrado presenta una concentración de azúcar 12 <sup>0</sup>Brix.

**Nota<sub>5</sub>:** La elaboración del jugo concentrado B se lleva acabo en otra sección de la planta de piña, por lo que la carga térmica de refrigeración de este proceso lo maneja otro sistema de refrigeración con R-22.

El problema actual del sistema de refrigeración con amoniaco, es que al producir simultáneamente el jugo pasteurizado y el jugo concentrado A ( *el cuál comprende los dispositivos #1, #2 y #4, ver página 68*), el sistema de refrigeración no da lo suficiente para poder mantener la temperatura de enfriamiento requerida en cada producto.

Actualmente, no se esta produciendo jugo pasteurizado dado a la deficiencia del sistema de refrigeración para cubrir la carga térmica total.

---

<sup>2</sup> El Calor específico (presión constante) del jugo piña se tomó del Libro “Principios y sistemas refrigeración” Edward G. Pita

## **4.6 Cálculo de la carga térmica por equipos**

### **4.6.1 Sistema de condensado para esencia de piña - Evaporador TASTE:**

El sistema de condensado de esencia de piña es un equipo que forma parte del Evaporador TASTE (Thermally Accelerated Short Time Evaporator) el cuál tiene una capacidad de extraer 10 000 lb/hr (4 545,5 kg/hr) de agua contenida en el jugo de piña A sin concentrar a 12 °Brix. Otra especificación de esta máquina es que presenta 7 pasos y 4 etapas de vaporización de agua contenida en el jugo de piña.

El flujo másico de jugo A de piña a 12 °Brix ingresa al evaporador TASTE, el cuál por etapas, va separando el agua (fase de vapor) contenida en el jugo; y por medio de un vacío existente en la máquina le extrae el agua, la cuál se condensa con agua fría, proveniente de la torre de enfriamiento.

Al final se obtiene jugo concentrado A de piña a 60,6 °Brix a una temperatura de 25 °C; el cuál es trasegado hacia los tanques de almacenamiento (Blenders) de 5000 galones de capacidad, y enfriado a una temperatura de 5 °C.

Para poder analizar el flujo másico de vapor de esencia que ingresa al sistema de condensado, es necesario determinar los flujos másicos reales y teóricos de entrada y salida del jugo concentrado en el evaporador TASTE.

Cabe señalar, que el estudio de la carga térmica se realizará tomando el consumo máximo (100%) del evaporador, para contemplar algún pico de producción.

## **Análisis del Evaporador TASTE – Jugo concentrado A**

El evaporador TASTE requiere de 1 375 kg/hr de vapor saturado a una presión manométrica [100 – 145] psi o (6,8 – 9,87 ) bar; para transferir calor al jugo de piña en cada uno de sus pasos y extraer el agua, haciéndolo más concentrado.

Existe una relación de evaporación 1:3,3; lo cuál significa que por cada kilogramo de vapor saturado, es posible extraer 3,3 kg de agua.

Seguidamente, se presentaran los datos teóricos y reales de producción de jugo de Piña A.

**Tabla #3: “Producción de jugo piña concentrado por tonelada métrica”**

<b>Tipo de jugo piña</b>	<b>Grado concentración</b>	<b>Cantidad</b>
	<b><sup>0</sup>Brix</b>	<b>Galones</b>
Jugo concentrado A	60,6	18
Jugo concentrado B	60,6	7

**Nota<sub>6</sub>:** Los datos anteriores se refieren al procesar una tonelada métrica de piña.

**Tabla #4: “Producción de jugo piña A y B concentrado por hora”**

<b>Tipo de jugo piña</b>	<b>Grado concentración</b>	<b>Cantidad</b>
	<b><sup>0</sup>Brix</b>	<b>gal/hr</b>
Jugo concentrado A	60,6	180
Jugo concentrado B	60,6	70

**Nota<sub>7</sub>:** El dato anterior corresponde al procesar 10 toneladas métricas por hora según datos del departamento de producción.

**Nota<sub>8</sub>:** Los datos anteriores corresponden a una eficiencia del Evaporador TASTE de 78% (ver cálculo de eficiencia – Evaporador).

## “Cálculo de la eficiencia del Evaporador TASTE”

Según el catálogo del Evaporador TASTE (Marca: **FMC Food Tech**) a una eficiencia de un 100%, el agua extraída es de 10 000 lb/hr.

Para poder determinar el flujo másico de jugo A de piña para el ingreso y la salida, existe un cálculo matemático que depende únicamente del grado de concentración ( $^{\circ}$ Brix) y el flujo másico de extracción del agua.



Con el diagrama anterior, se puede aplicar el concepto de conservación de la masa, y se deduce la primera fórmula:

$$JE = 10\,000 + JS \quad \longrightarrow \quad \begin{array}{l} \text{Donde:} \\ \blacksquare \text{ JE: Jugo de entrada} \\ \blacksquare \text{ JS: Jugo de salida} \end{array}$$

Y como segunda fórmula, relaciona el jugo de entrada con el jugo de salida, a través de la concentración ( $^{\circ}$ Brix).

$$0,12 JE = 0,606 JS \Rightarrow JE = 5,05 JS$$

Sustituyendo la segunda fórmula y en la primera:

$$m_{60,6^{\circ} \text{ Brix}} = 2\,469,2 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \frac{\text{kg}}{2,2\text{lb}} \Rightarrow 1\,122 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Y aplicando la densidad del jugo concentrado A de Piña a 60.6 $^{\circ}$  Brix 1.29kg / litro; se obtiene un caudal teórico de:

$$Q_{60,6^{\circ} \text{ Brix}} = 230 \frac{\text{gal}}{\text{hr}} \quad \longrightarrow \quad \text{Caudal teórico de salida del Evaporador TASTE}$$

Con el flujo másico del jugo concentrado a 60,6 °Brix, se calcula cuál es el flujo másico del jugo simple a 12 °Brix.

$$m_{12^{\circ}Brix} = 2\,469,2 \frac{lb}{hr} * 5,05 \Rightarrow 12\,469,46 \frac{lb}{hr}$$

Y aplicando la densidad del jugo concentrado A de piña a 12 °Brix de 1,048 kg / l; se obtiene un caudal teórico de:

$$Q_{12^{\circ}Brix} = 1\,431 \frac{gal}{hr} \quad \longrightarrow \quad \text{Caudal teórico de entrada del Evaporador TASTE}$$

Para encontrar la eficiencia actual del evaporador TASTE, se debe aplicar la siguiente razón matemática:

$$\eta_{Evaporador} = \frac{Q_{Real}}{Q_{Teórico}} \Rightarrow \frac{180 \frac{gal}{hr}}{230 \frac{gal}{hr}} \Rightarrow 78\% \quad \longrightarrow \quad \text{Eficiencia actual del Evaporador TASTE}$$

Ahora es necesario relacionar matemáticamente lo anterior, para conocer cuál es el flujo másico aproximado del jugo de piña a 12 °Brix que ingresa al Evaporador TASTE, con una eficiencia del 78% (eficiencia actual).

Para poder determinar cuál es el flujo másico real del jugo A concentrado de Piña a 60,6 °Brix, se debe aplicar nuevamente la densidad del jugo anteriormente señalada.

$$m_{real\ 60,6^{\circ}Brix} = 180 \frac{gal}{hr} * 4,87 \frac{kg}{gal} * 2,2 \frac{lb}{kg} \Rightarrow 1\,928,5 \frac{lb}{hr}$$

Es posible determinar el flujo másico real del jugo a 12<sup>o</sup>Brix al evaporador, asumiendo lo siguiente:

$$\frac{m_{R_{12^0 B}}}{m_{R_{60,6^0 B}}} = \frac{m_{T_{60,6^0 B}}}{m_{T_{60,6^0 B}}} \longrightarrow \text{Relación de los flujos másicos teóricos y reales}$$

Seguidamente, se presentan los datos finales de flujo másico reales y teóricos.

**Tabla #5: “Flujos másicos teóricos y reales de jugo de piña – Evaporador TASTE”**

Jugo de piña A	Concentración	Flujo másico		Caudal	
		Teórico	Real	Teórico	Real
Evaporador	Grados	lb/hr	lb/hr	gal/hr	gal/hr
<b>TASTE</b>	<b>Brix</b>				
Entrada	12	<b>12 470</b>	9 752	<b>1 431</b>	1 118
Salida	60,6	<b>2 470</b>	1 928	<b>230</b>	180

**Nota<sub>9</sub>:** Los valores teóricos corresponden a una eficiencia del Evaporador TASTE de un 100% (10 000 lb/hr - 4 545,5 kg/hr de agua extraída).

**Nota<sub>10</sub>:** Los valores reales corresponden a una eficiencia del Evaporador TASTE de un 78% (7 820 lb/hr – 3 555 kg/hr de agua extraída).

Con los datos de la tabla #5, es posible conocer el flujo másico de entrada al evaporador; y es importante señalar que para el cálculo de la carga térmica del sistema de condensado para esencia , se tomará el valor máximo de entrada.

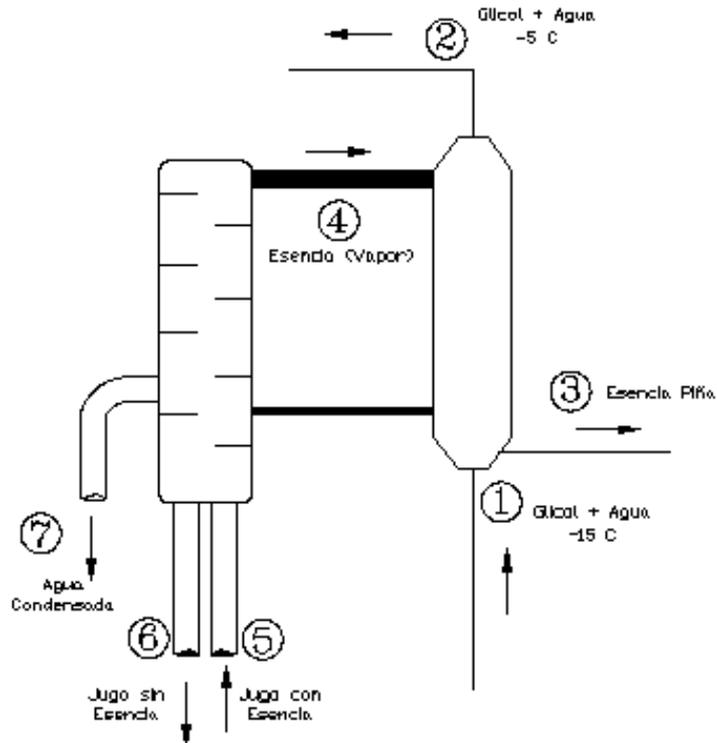


Figura #2: "Diagrama general del sistema condensado de esencia piña"

Los puntos de ingreso y salida de flujo másico para este volumen de control se muestran en la siguiente tabla.

Tabla #6: "Flujos másicos de entrada y salida para el sistema condensado de esencia"

Punto	Descripción	Temperatura °C	Flujo másico lb/hr
1	Glycol + agua	-15	?
2	Glycol + agua	-5	?
3	Esencia líquida	30	65
4	Vapor de esencia	45	65
5	Jugo con esencia	45	12 470
6	Jugo sin esencia	35	2 404,5
7	Agua condensada	30	10 000

**Nota<sub>11</sub>:** El flujo másico de agua + glycol mínimo no se especifica, ya que es necesario realizar de primero el cálculo de la carga térmica para el sistema de condensado.

**Nota<sub>12</sub>:** El flujo másico de agua + glycol de los puntos 1 y 2 son iguales.

La determinación de cuanta energía debe ser removida para que la esencia de piña pase de vapor a líquido, y bajarle la temperatura de 45 °C a 30 °C es necesario utilizar el concepto de calor latente y calor sensible.

Según la tabla #6, el flujo másico estimado de esencia en vapor es 65 lb/hr a una temperatura de 45 °C.

Es importante mencionar que según datos del departamento de producción, es posible asumir que las características físicas de la esencia de piña a esa temperatura, son similares a las del agua a 45 °C.

Entonces, según la tabla A.6 “Propiedades termofísicas del agua saturada” (ver anexo), se establece un calor específico a 45 °C (318,5 K) de 4,180 kJ/kg K (**0,998 BTU/lb °F**)<sup>3</sup>.

Por otra parte, es necesario encontrar la entalpía necesaria para el cambio de fase (vapor – líquido) de la esencia. Según la tabla A-SE “Agua saturada” del libro “Termodinámica”, Yunus (ver anexo), la entalpía de vaporización para la esencia es **1029,54 BTU/lb**.

Para calcular la carga térmica demandada por cada equipo, se utilizarán las siguientes fórmulas<sup>4</sup>:

$$Q_L = mh_{vaporiz}$$

Fórmula #1

Donde:

- $Q_L$ = Calor latente (BTU/hr)
- $m$  = Flujo másico (lb/hr)
- $h_{vap.}$ = Entalpía vaporización (BTU/lb)

$$Q_S = m.Cp.(T_2 - T_1)$$

Fórmula #2

Donde:

- $Q_S$ = Calor sensible (BTU/hr)
- $m$  = Flujo másico (lb/hr)
- $Cp$ = Calor específico a presión constante (BTU/lb °F)

---

<sup>3</sup> La conversión del SI al Sistema Inglés para el calor específico es: 1KJ/kg K es igual **0,2388 BTU/lb °F**.

<sup>4</sup> Las fórmulas anteriores son tomadas del libro “Principios y sistemas de refrigeración” Edward G Pita.

Retomando el cálculo:

$$Q_L = 64,6 \frac{lb}{hr} * 1029,54 \frac{BTU}{lb} \Rightarrow 66\,405,33 \frac{BTU}{hr} \longrightarrow \text{Calor que se debe extraer para condensar la esencia de piña}$$

Una vez producido el cambio de estado, es necesario disminuir la temperatura de la esencia de 45 °C a 30 °C.

$$Q_S = 64,6 \frac{lb}{hr} * 0,998 \frac{BTU}{lb \cdot ^\circ F} * (113 - 86) \cdot ^\circ F \Rightarrow 1738,01 \frac{BTU}{hr} \longrightarrow \text{Calor que se debe extraer para enfriar la esencia de piña}$$

Al final se suman ambos datos, para determinar el calor total a remover por parte del flujo másico de agua + glycol.

$$Q_{Total} = 66\,405,33 + 1\,738,01 \Rightarrow 68\,143,66 \frac{BTU}{hr}$$

Es importante señalar, que se aplicará un 10% como factor de seguridad en la estimación real de la carga térmica.

Entonces, la carga térmica total para el sistema de condensado para esencia de Piña es:

$$Q_{Total} = 66\,405,33 + 1\,738,01 \Rightarrow 68\,143,66 \frac{BTU}{hr}$$

$$Q_{Total} = 74\,958 \frac{BTU}{hr} \approx 6,25 \frac{Ton}{hr} \longrightarrow \text{Calor total a extraer para el sistema de condensado para esencia de piña}$$

**Nota<sub>13</sub>:** Una tonelada de refrigeración equivale a 12 000 BTU.

Como se mencionó anteriormente, se utiliza como agente secundario de enfriamiento la disolución de agua + glycol; dado que la aplicación directa del amoniaco al producto puede ocasionar contaminación del producto, e inclusive choques térmicos con los equipos; debido a que los mismos se les aplica periódicamente procesos de limpieza con soda cáustica + agua caliente (80 °C).

Para efectos prácticos, es indispensable conocer el flujo másico aproximado de agua + glycol con las temperaturas estimadas (ver tabla #6 – Pág. 70); de esta manera analizar si la bomba centrífuga puede funcionar adecuadamente con todos los equipos funcionando.

Es posible calcular el flujo másico de agua + glycol, mediante la fórmula #2 y el resultado del calor sensible de la esencia de piña.

$$Q_{Total} = 74\,958 \frac{BTU}{hr} \approx 6,25 \frac{Ton}{hr} \quad \longrightarrow \quad \text{Calor total a extraer por parte del flujo másico agua + glycol}$$

Despejando la fórmula #2 (Pág. 76), se obtiene:

$$m_{agua+glycol} = \frac{Q_{remover}}{(T_2 - T_1) * C_p_{agua+glycol}} \quad \longrightarrow \quad \text{Donde:}$$

**Fórmula #3**

- Q= Calor removido (BTU/hr)
- m = Flujo másico de agua + glycol (lb/hr)
- Cp = Calor específico a presión constante (BTU/lb °F)
- T<sub>2</sub> y T<sub>1</sub> =Temperaturas de salida y entrada

Se realizaron medidas reales de temperatura del retorno de agua + glycol, y se estableció una temperatura de entrada y salida de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $5\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) y  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $23\text{ }^{\circ}\text{F}$ ), respectivamente.

$$m_{agua+glycol} = \frac{74.958,03 \frac{Btu}{hr}}{(23 - 5)\text{ }^{\circ}\text{F} * 0,909 \frac{BTU}{lb\text{ }^{\circ}\text{F}}} \Rightarrow 4\,581,2 \frac{lb}{hr} \quad \longrightarrow \quad \text{Flujo másico mínimo para enfriamiento}$$

Y el caudal mínimo para enfriamiento es:

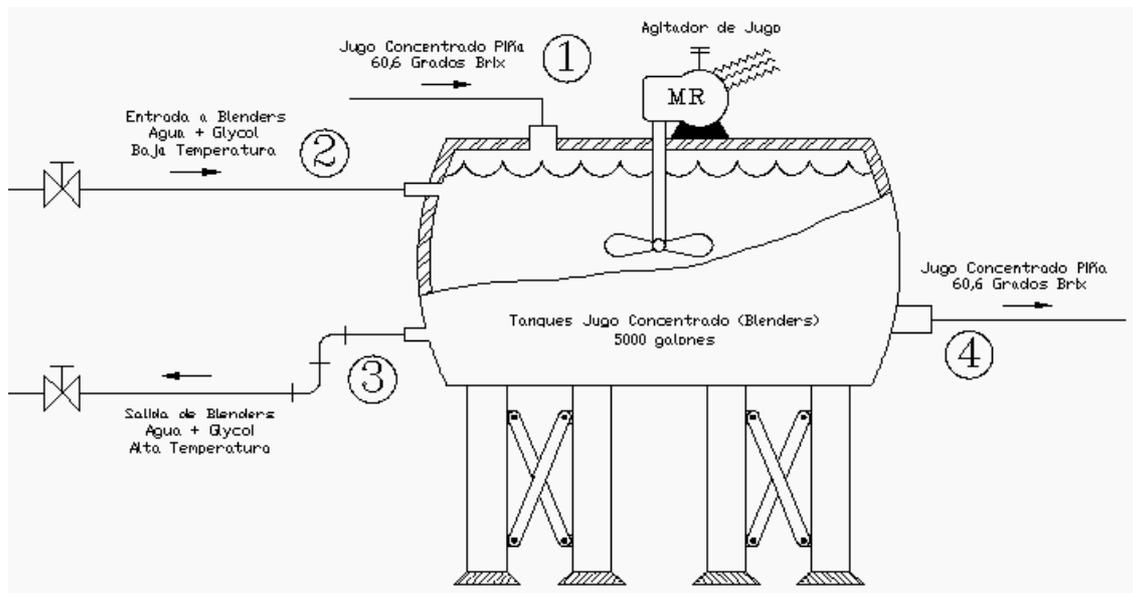
$$Q_{agua+glycol} = 8 \text{ gpm} \quad \longrightarrow \quad \text{Caudal mínimo requerido para enfriamiento}$$

**Nota<sub>14</sub>:** Se utilizó la densidad de la disolución de  $1134,26 \text{ kg/m}^3$ , para poder determinar el caudal a partir del flujo másico.

#### 4.6.2 Tanques de almacenamiento (Blenders) jugo piña A:

Los tanques de almacenamiento para el jugo concentrado A de Piña tiene una capacidad de 5000 galones cada uno; cabe señalar que existen tres instalados.

Cada tanque tiene una tubería de ingreso y retorno del agente secundario de enfriamiento (agua + glycol), y la tasa de ingreso de jugo concentrado A depende del flujo másico de salida del Evaporador TASTE .



**Figura #3: "Diagrama general para tanque de almacenamiento de jugo concentrado A de piña – 5000 galones"**

Es indispensable especificar que la salida del jugo concentrado (punto 4) no es constante, es decir, que primero se llena el blender y luego se trasiega por medio de una bomba de lóbulos (Marca: **Waukhesa**), para llevar a cabo el empaque en estafiones de 52 galones. Según lo estimado con el flujo de salida del Evaporador TASTE, cada blender se llena por completo entre el intervalo de [21 – 27] horas; según la eficiencia del Evaporador TASTE.

La siguiente tabla indica la información de cada punto de la figura #3, para el respectivo cálculo de la carga térmica.

**Tabla #7: “Flujos máscicos de entrada y salida para cada tanque de Jugo concentrado de piña”**

Punto	Descripción	Temperatura	Flujo máscico
		<sup>0</sup> C	lb/hr
<b>1</b>	Jugo concentrado A de piña	25	2 467,35
<b>2</b>	Agua + glycol	-15	?
<b>3</b>	Agua + glycol	-5	?
<b>4</b>	Jugo concentrado A de piña	5	variable

**Nota<sub>15</sub>:** El flujo máscico del punto 1 (figura #3) corresponde al flujo máscico de salida del evaporador TASTE, el cuál en caudal es 230 gpm.

**Nota<sub>16</sub>:** Para calcular el flujo máscico de entrada a los blenders, se aplico una densidad según la concentración de 60,6 <sup>0</sup>Brix correspondiente a 1,29 kg/l.

Como esta aplicación solo involucra disminución de la temperatura se debe calcular el calor sensible que presenta el jugo concentrado A de piña a 60,6 <sup>0</sup>B; el cuál ingresa a una temperatura promedio de 25 <sup>0</sup>C y que debe mantenerse a una temperatura de 5 <sup>0</sup>C; según las normas de calidad.

$$Q_s = 0,88 \frac{BTU}{lb^0 F} * 2\ 467,35\ lb * (77 - 41)^0 F \Rightarrow 78\ 165,87 \frac{BTU}{hr}$$

Se aplicará un 10% como factor de seguridad en la estimación real de la carga térmica.

$$Q_s = 85\ 982,45 \frac{BTU}{hr} \approx 7,2 \frac{Ton}{hr} \quad \longrightarrow \quad \text{Calor que se debe extraer para enfriar el jugo concentrado A 60,6<sup>0</sup> Brix}$$

Nuevamente, se debe encontrar el flujo máscico necesario de agua + glycol a las mismas temperaturas de ingreso y retorno, aplicadas en el sistema de condensado para esencia señaladas en la tabla #6 (Pág. 75).

Aplicando la fórmula #3 (Pág. 78):

$$m_{agua+glycol} = \frac{85\,982 \frac{Btu}{hr}}{(23-5)^{\circ}F * 0,909 \frac{BTU}{lb * F}} \Rightarrow 5255 \frac{lb}{hr} \longrightarrow \text{Flujo másico mínimo para enfriamiento}$$

Para determinar el caudal que debe proporcionar la bomba centrífuga, se toma el mismo valor de densidad (agua + glycol) 1134,26 kg/m<sup>3</sup>.

$$Q_{Blenders} = 9,28 \text{ gpm} \longrightarrow \text{Caudal mínimo requerido para enfriamiento}$$

### Análisis general de los Tanques para jugo de piña:

Los datos de carga térmica y caudal mínimo corresponden a un tanque de 5000 galones, y dado el caso que en la planta de piña existen 3 unidades, se concluye lo siguiente.

$$Q_s = 257\,946 \frac{BTU}{hr} \approx 21,5 \frac{Ton}{hr} \longrightarrow \text{Calor que se debe extraer para enfriar el jugo concentrado A 60.6° Brix}$$

Esta carga térmica es tomada suponiendo que los tres tanques de almacenamiento instalados se están llenando simultáneamente; de tal manera que se contempla dicha posibilidad .

Y el caudal mínimo que debe entregar la bomba centrífuga del agente secundario de enfriamiento es:

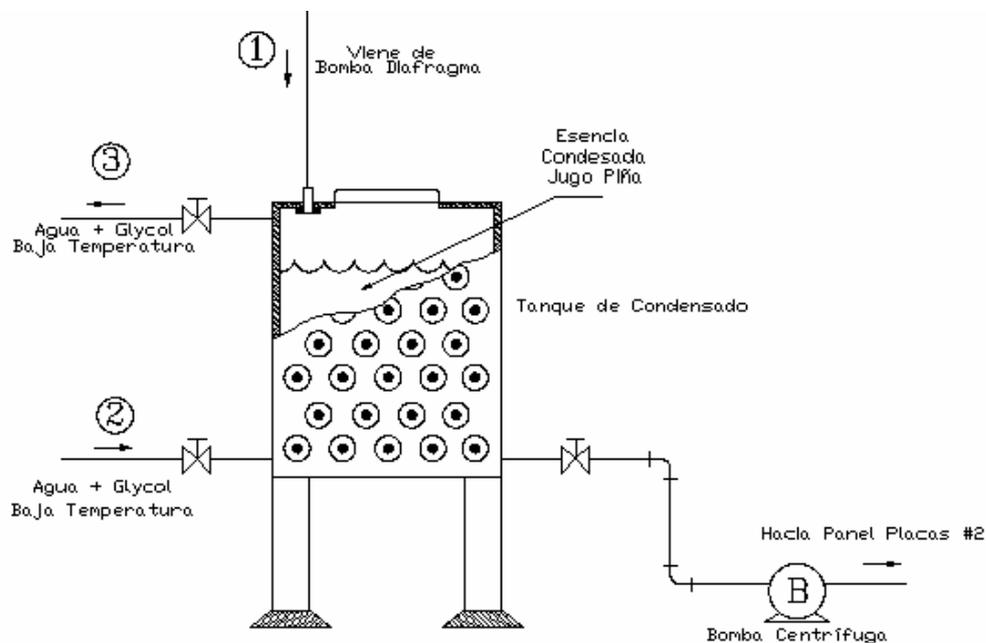
$$Q_{Blenders} = 28 \text{ gpm} \longrightarrow \text{Caudal mínimo requerido para enfriamiento}$$

### 4.6.3 Tanque enchaquetado para esencia líquida de piña:

Este tanque con una capacidad estimada de 600 galones es confeccionado en acero inoxidable, y es utilizado para almacenar la esencia condensada proveniente del sistema de condensado del Evaporador TASTE.

Durante el proceso de concentración del jugo de piña, es inevitable la separación de la esencia, y es necesario que el producto final empacado en estañones de 52 galones contenga propiamente el olor de la esencia.

Por tal motivo, una vez recolectada la esencia es necesario enfriarla aproximadamente a la misma temperatura del jugo concentrado A ( $5^{\circ}\text{C}$ ).



**Figura #4: "Diagrama general para el tanque enchaquetado para esencia de piña"**

Al igual que los tanques (Blenders), la esencia líquida es trasegada por una bomba centrífuga en un determinado momento; el cuál depende del nivel de llenado de los Blenders y del proceso de empaque del jugo concentrado A de Piña.

Seguidamente, se presentará la información de cada punto de la figura #4, para el respectivo cálculo de la carga térmica.

**Tabla #8: “Flujos másicos de entrada y salida para el tanque encaquetado de esencia líquida de piña”**

Punto	Descripción	Temperatura	Flujo másico
		<sup>o</sup> C	lb/hr
1	Esencia líquida de piña	20	volumen dado
2	Agua + glycol	-15	?
3	Agua + glycol	-5	?

**Nota<sub>17</sub>:** Para este caso, se tomará el volumen de la esencia de piña total del recipiente (600 galones).

Para esta aplicación se aplica el concepto de calor sensible, y se utilizará el mismo valor de la densidad del sistema de condensado del Evaporador TASTE.

$$m_{\text{esencia}} = 600 \text{ gal} * 3,78 \frac{l}{\text{gal}} * 0,998 \frac{kg}{l} * 2,2 \frac{lb}{kg} \Rightarrow 4\,980 \text{ lb} \quad \longrightarrow \quad \text{Masa total esencia líquida}$$

$$Q_s = 4\,980 \text{ lb} * 0,998 \frac{BTU}{lb \text{ } ^oF} * (68 - 41) \text{ } ^oF \Rightarrow 133\,922,7 \text{ BTU}$$

Se aplicará un 10% como factor de seguridad en la estimación real de la carga térmica.

$$Q_s = 147\,314,97 \text{ BTU} \quad \longrightarrow \quad \text{Calor que se debe extraer para enfriar la esencia de piña}$$

Este valor de carga térmica es total, por lo que si estimamos un tiempo de enfriamiento de 10 horas se obtiene lo siguiente:

$$Q_s = \frac{147\,314,97 \text{ BTU}}{10 \text{ hr}} \Rightarrow 14,732 \frac{BTU}{hr} \approx 1,22 \frac{Ton}{hr}$$

Posteriormente, se calculará el flujo másico de agua + glycol con las temperaturas especificadas en la tabla #8.

Aplicando la fórmula #3 (Pág. 78):

$$m_{\text{agua+glycol}} = \frac{14\,732 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}}{(23-5)^{\circ\text{F}} * 0,909 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} * ^{\circ}\text{F}}} \Rightarrow 900,4 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \longrightarrow \text{Flujo másico mínimo para enfriamiento}$$

Y el caudal mínimo que debe entregar la bomba centrífuga del agente secundario de enfriamiento es:

$$Q_{\text{Requerido}} = 2 \text{ gpm} \longrightarrow \text{Caudal mínimo requerido para enfriamiento}$$

#### **4.6.4 Pasteurizador APV de jugo simple:**

Este equipo es utilizado para producir jugo de piña (single strength), el cuál presenta una concentración de 12 °Brix.

El proceso consiste en elevar la temperatura de jugo de piña de 20 °C hasta 95 °C (cercano al punto ebullición), con el fin de eliminar bacterias existentes y luego, se aplica un rápido enfriamiento para asegurarse aún más la eliminación de bacterias restantes.

El Pasteurizador APV<sup>5</sup> presenta tres secciones de intercambio de calor:

- **Sección de precalentamiento:** el jugo de entrada (20 °C) adquiere un precalentamiento (83 °C) por parte del mismo jugo proveniente de la sección de calentamiento (94 °C). De esta manera se ahorra energía (agua calentada con vapor) para realizar el calentamiento final del jugo de piña.
- **Sección de calentamiento:** esta sección realiza el calentamiento final del jugo (94 °C) a través de un agente secundario de calentamiento (agua potable).
- **Sección de enfriamiento:** el jugo saliente de la sección de calentamiento (94 °C) circula por un serpentín externo durante 30 segundos el cuál por convección y conducción, entrega calor al medio circundante (aire); una válvula termostática de tres vías controla la homogenización de la temperatura del jugo, y si la temperatura no es la adecuada, desvía el jugo hacia el tanque de alimentación principal para su retorno. Y si la temperatura es la establecida, el jugo es desviado hacia la sección de precalentamiento y posteriormente, a la sección de enfriamiento donde el flujo másico de agua + glycol disminuye la temperatura de 40 °C a 20 °C. Para luego ser trasegado hacia los blenders de 5000 galones anteriormente mencionados (ver Pág. 79 ).

El ingreso del jugo de piña simple (12 °Brix) se realiza a través de una bomba centrífuga, cuyas características se especificarán más adelante.

---

<sup>5</sup> Para mayores detalles, observar el “Diagrama de flujos” del Pasteurizador APV ubicado en el Anexo.

Como premisa, es posible afirmar que conforme el ingreso de jugo aumenta, la carga térmica se incrementa considerablemente.

Para efectos de cálculo de la carga térmica del Pasteurizador APV, se analiza en función del posible caudal (galones por minuto) que la bomba centrífuga APV (5 Hp) puede entregar; condiciones que son estimadas a través de la “*curva de rendimiento*” que brinda el fabricante.

Según la información de la “**curva de rendimiento**” (ver anexo) para la bomba centrífuga APV (5 Hp, 460V, diámetro del impulsor = 5,6”), el caudal máximo es de 120 galones por minuto de jugo A de piña a 12 °Brix.

$$Q_{Máximo} = 120 \frac{gal}{min} * 3,78 \frac{l}{gal} * 1,048 \frac{kg}{l} * 2,2 \frac{lb}{kg} * 60 \frac{min}{hr} \Rightarrow 62\,785,2 \frac{lb}{hr}$$

**Nota<sub>18</sub>:** La densidad del jugo simple a 12 °Brix corresponde a 1,0486 kg/l.

Nuevamente, la determinación de la carga térmica se basará en el concepto de calor sensible, dado a la ausencia de cambio de fase durante el proceso en estudio.

$$Q_s = 0,88 \frac{BTU}{lb^{\circ}F} * 62\,785,2 \frac{lb}{hr} * (104 - 68)^{\circ}F \Rightarrow 1\,989\,033,06 \frac{BTU}{hr}$$

Se aplicará un 10% como factor de seguridad en la estimación real de la carga térmica máxima presente .

$$Q_s = 2\,187\,936,4 \frac{BTU}{hr} \approx 182 \frac{Ton}{hr} \quad \longrightarrow \quad \text{Calor que se debe extraer para enfriar el Jugo concentrado A } 60,6^{\circ} \text{ Brix}$$

Seguidamente, se estimará el flujo másico necesario para extraer el calor presente en el jugo pasteurizado A 12 °Brix.

Aplicando la fórmula #3 (Pág. 78):

$$m_{\text{agua+glycol}} = \frac{2187936,4 \frac{\text{Btu}}{\text{hr}}}{(23-5)^{\circ}\text{F} * 0,909 \frac{\text{BTU}}{\text{lb} * ^{\circ}\text{F}}} \Rightarrow 133720 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \longrightarrow \text{Flujo másico mínimo para enfriamiento}$$

Y el caudal mínimo que debe entregar la bomba centrífuga del agente secundario de enfriamiento es:

$$Q_{\text{Requerido}} = 237 \text{ gpm} \longrightarrow \text{Caudal mínimo requerido para enfriamiento}$$

Como se explicó anteriormente, la condición de trabajo y demanda térmica del Pasteurizador APV para Jugo A depende directamente del caudal de la bomba centrífuga APV.

Es por tal motivo, que el procedimiento del cálculo anterior se utilizará para simular distintos caudales (flujos másicos) de jugo de piña A; para así poder recomendar cuál sería el caudal adecuado para que la carga térmica del pasteurizador y demás equipos (referidos a la pág. 63), pueda ser manejada por el compresor de refrigeración en R-717.

A continuación, se presenta una “**tabla – resumen**” sobre la carga térmica y el caudal requerido de agua + glycol, según el ingreso de jugo de piña a 12<sup>0</sup> Brix.

**Tabla #9: “Carga térmica y caudal de agua + glycol según el ingreso de jugo de piña A a 12 °Brix ”**

Jugo simple 12 °Brix		Carga térmica		Flujo de enfriamiento	
gpm	lb/hr	BTU/hr	Ton/hr	lb/hr	gpm
120	62 785,08	2 187 936,40	182	133 720,6	237
60	31 392,54	994 515,67	83	60 782,0	108
30	15 696,27	497 257,83	41	30 391,0	54
<b>15</b>	<b>7 848,14</b>	<b>248 628,92</b>	<b>21</b>	<b>15 195,5</b>	<b>27</b>
<b>10</b>	<b>5 232,09</b>	<b>165 752,61</b>	<b>14</b>	<b>10 130,3</b>	<b>18</b>

**Nota<sub>19</sub>:** El flujo másico de enfriamiento (agua + glycol) presenta las temperaturas de ingreso y retorno de  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $-5^{\circ}\text{C}$ , respectivamente.

Es importante analizar que debido a la capacidad máxima teórica del compresor (70 toneladas por hora), es importante recomendar un rango de ingreso del jugo simple de piña A con una concentración de 12 °Brix.

Según los cálculos presentados en la tabla #9 y estimando la carga térmica de los otros equipos, se recomienda un ingreso máximo de **15 gpm** de Jugo Simple correspondiente a una carga térmica máxima de **21 ton/hr**.

A continuación, se muestra una “**tabla – resumen**” que contiene los valores aproximados de la carga térmica de refrigeración y los flujos másicos de agua + glycol, para los equipos y máquinas anteriormente analizadas.

**Tabla #10: “Resumen de la carga térmica y flujo másico de agua + glycol para cada equipo - máquina ”**

<b>Equipo o dispositivo</b>	<b>Carga térmica</b>	<b>Flujo de agua + glycol</b>	
		<b>ton/hr</b>	<b>lb/hr</b>
Planta de piña			
Sistema de condensado esencia	6,25	4 581,2	8
Tanque #1 - Jugo concentrado A	7,2	5 255,0	9,28
Tanque #2 - Jugo concentrado A	7,2	5 255,0	9,28
Tanque #3 - Jugo concentrado A	7,2	5 255,0	9,28
Tanque enchaquetado de esencia	1,22	900,4	2
Pasteurizador APV - Jugo A	21	15 195,5	27
<b>Total de carga térmica</b>	<b>50</b>		

**Nota<sub>20</sub>:** La carga térmica del Pasteurizador APV de 21 ton/hr, se tomó según lo recomendado en la página 33.

**Nota<sub>21</sub>:** Las temperaturas de entrada y salida de agua + glycol en los equipos, es de  $-15^{\circ}\text{C}$  y  $-5^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

**Nota<sub>22</sub>:** La carga térmica de cada uno de los equipos comprende un 10% como factor de seguridad.

Una vez estimada la carga térmica de refrigeración, se analizarán el sistema de refrigeración en R-717 y el sistema de circulación del agua + glycol.

## 4.7 Sistema de circulación agua + glycol

El sistema de circulación del agente secundario (agua + glycol) en cada uno de las aplicaciones de enfriamiento, se lleva a cabo por medio de dos bombas centrífugas.

**Tabla #11: “Especificaciones de las bombas centrífugas utilizadas en el sistema de circulación agua + glycol”**

Bomba centrífuga	Marca	Impulsor	Modelo	Potencia	Voltaje	Velocidad
máquina - utilizada		pulgadas		Hp	V	rpm
Intercambiador #1	Gounds Pumps	6 3/4	SSH	10	480	3500
Intercambiador #2	Gounds Pumps	4 7/16	NPE	1	480	3500

**Nota<sub>23</sub>:** En la tabla anterior se especifica el intercambiador de calor Amoniaco – agua + glycol, donde se aplica la respectiva bomba centrífuga.

**Nota<sub>24</sub>:** Cada bomba centrífuga presenta su “**curva de rendimiento**”, localizado en el anexo.

Es necesario indicar que la bomba centrífuga del **intercambiador de calor #1** (tipo inundado) maneja la carga térmica de:

- Los tres tanques de jugo concentrado A de 5000 galones cada uno.
- El pasteurizador APV para jugo simple de piña.
- El Tanque enchaquetado para esencia de piña.

Y por su parte, la bomba centrífuga del **intercambiador de calor #2** (tipo placas) maneja la carga térmica de:

- El sistema de condensado para esencia de piña.

Seguidamente, se muestra el caudal mínimo de agua + glycol que cada bomba centrífuga debe entregar a las respectivas aplicaciones de enfriamiento; según la tabla #10 (Pág. 84).

**Tabla #12: “Análisis del rendimiento de cada bomba centrífuga para los intercambiadores de calor #1 y #2”**

Equipo	Caudal mínimo Gpm	THD		Eficiencia %
		m H <sub>2</sub> O	psig	
Bomba Centrífuga - Intercambiador #1	57	52	74	55%
Bomba Centrífuga - Intercambiador #2	8	25	36	45%

**Nota<sub>25</sub>:** El NPS<sub>Requerido</sub> para cada bomba centrífuga, es posible determinarlo a través de las “curvas de rendimiento” (ver anexo).

**Nota<sub>26</sub>:** La succión que presenta cada una de las bombas centrífugas instaladas es del tipo “succión positiva”; de tal manera que no es necesario el análisis del NPS<sub>Disponible</sub>.

**Nota<sub>27</sub>:** La abreviación **THD** es la cabeza total dinámica de presión desarrolla por la bomba centrífuga, a esa condición de caudal.

### **Presión estática de la instalación:**

El sistema de condensado para esencia de piña del Evaporador TASTE se encuentra a una altura aproximada de 12 metros; por lo que la presión desarrollada por la bomba centrífuga del intercambiador #2 permite el trasiego del agua + glycol hacia la entrada del sistema condensador.

En el caso de los demás equipos, la altura máxima que el fluido secundario de enfriamiento debe vencer es de 4 metros de altura; por lo que según la información de la tabla #11 (Pág. 85), la presión de la bomba centrífuga del intercambiador #1 permite un óptimo desempeño del sistema.

Es importante retomar la teoría de las bombas centrífugas; ya que el caudal es inversamente proporcional a la presión desarrolla por la bomba.

## 4.8 Sistema de refrigeración en amoníaco – Planta de piña

Como se ha mencionado anteriormente, la planta de piña tiene un sistema de refrigeración por compresión de vapor en R-717; para más detalle se dibujaron los planos en Autocad 2D del “*sistema de refrigeración de la planta piña – Florida Products S.A*”

El dispositivo utilizado en este sistema de refrigeración como evaporador, se refiere a *dos intercambiadores de calor*, diseñados para trabajar con amoníaco y glycol.

**Tabla #13: “Características técnicas para el intercambiador de calor #1:  
amoníaco – agua + glycol”**

Tipo	Marca
4WP-A2-2	GEA FES Systems
Presión de diseño	
Lado caliente	Lado frío
150 psig	250 psig
Temperatura de diseño	
Lado caliente	Lado frío
185 °F	-20 °F

**Nota<sub>28</sub>:** El intercambiador de calor #1 enfría el agua + glycol de –5C a –15 C para los siguientes equipos: 3 tanques de jugo concentrado A, pasteurizador APV y el tanque de esencia.

**Tabla #14: “Características técnicas para el intercambiador de calor #2:  
amoníaco – agua + glycol”**

Modelo	Marca
CHA7-1/2(DX-AJ-UM)	Flat Plate
Presión de diseño	
Lado caliente	
400 psig	
Temperatura de diseño	
Lado caliente	
200 °F	

**Nota<sub>29</sub>:** El intercambiador de calor #2 enfría el agua + glycol de –5C a –15 C para los siguientes equipos: sistema de condensado para esencia de piña.

Para conocer cuál es la capacidad teórica en toneladas de refrigeración, es necesario buscar los datos de placa del compresor y encontrar sus características según el fabricante (ver anexo y tabla #15).

El sistema de refrigeración tiene un compresor reciprocante de pistón con doble cabezal, el cuál dependiendo de la demanda térmica, acciona el segundo cabezal de compresión.

**Tabla #15 “Características técnicas para el compresor reciprocante de pistón para refrigerante amoníaco (R-717)”**

<b>Marca:</b> Vilter	
<b>Modelo:</b> VCM 440	
<b>Tamaño:</b> 446 50 Hp – 1200 rpm	
<b>Capacidad:</b> 70 toneladas/ hora	
<b>Líneas de conexión</b>	
<b>Succión</b>	<b>Descarga</b>
4 pulg (101,6 mm)	3 pulg (76,2 mm)

**Nota<sub>30</sub>:** La capacidad teórica máxima que se obtiene de este compresor, se da cuando las líneas de succión y descarga presentan los diámetros recomendados; y a una temperatura de succión de 20 °F (-6,6 °C).

**Nota<sub>31</sub>:** Aunque la temperatura de saturación del amoníaco en la aplicación es de 5 °F (-15 °C) y la capacidad del compresor está en 20 °F (-6,6 °C); es posible asumir dicha capacidad a la condición actual de la planta.

Para un mejor detalle del “**Sistema de refrigeración R-717 de la planta piña**”, observar los planos elaborados en Autocad 2D adjuntos.

### 4.8.1 Análisis de los intercambiadores de calor #1 y #2

En los intercambiadores de calor #1 y #2, los fluidos que intervienen en el proceso de enfriamiento son: **agua + glycol** y **amoniaco líquido a baja presión**.

La presión y temperatura de saturación del amoniaco, se determinará tomando un cambio de temperatura de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  con respecto al agua de retorno.

Lo anterior se refiere a que el agua + glycol presenta una temperatura de retorno de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; resultando una temperatura de saturación del amoniaco de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $5\text{ }^{\circ}\text{F}$ ).

#### “Intercambiador de calor #1”

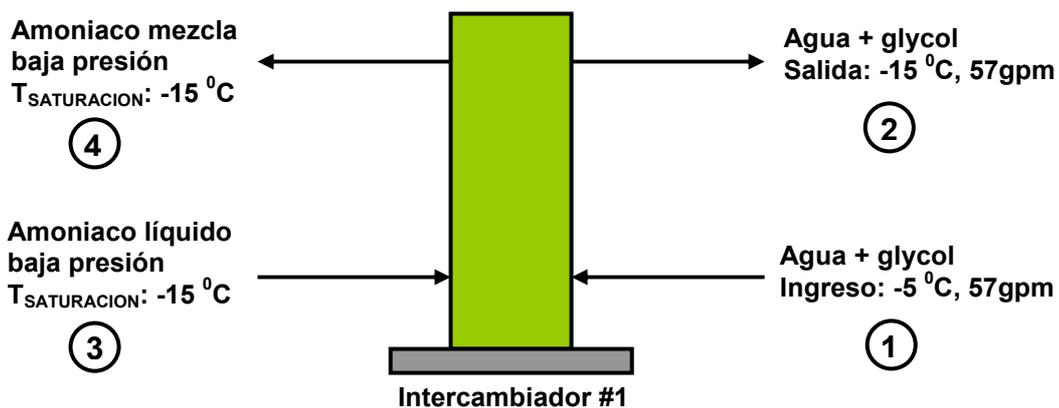


Figura #5: “Diagrama general del intercambiador de calor #1”

Es importante explicar, que el receptor de baja presión (ver planos del sistema de refrigeración) lleva a cabo la estrangulación del amoniaco líquido a alta presión, a través de una válvula de expansión manual ( marca HANSEN).

Una vez realizado lo anterior, el receptor presenta dos fases: líquido que se desplaza hacia el intercambiador de calor #1, y gas el cuál sale del receptor hacia la tubería de succión del compresor.

Como se tiene la temperatura de saturación a **-15 °C (5 °F)** del amoníaco a una presión absoluta de **35 psi (20 psig)** ; se puede determinar a partir de la tabla N° 5 “Propiedades termodinámicas del amoníaco” (ver anexo), que la entalpía de vaporización es **565 BTU/lb.**

Utilizando el concepto de conservación de la energía, y como no existe calor adicional ni trabajo aplicado al volumen de control; se deduce lo siguiente:

$$m_1 h_1 + m_3 h_3 = m_4 h_4 + m_2 h_2 \quad \longrightarrow \quad \text{La } m \text{ corresponde al flujo másico [lb/hr]}$$

Despejando:

$$m_1 (h_1 - h_2) = m_3 (h_4 - h_3)$$

También es válido decir que, el cambio de entalpía de un fluido es igual al producto de su calor específico (presión constante) y su cambio de temperatura.

$$\Delta h = C_p * \Delta T$$

Lo anterior es igual a:

$$m_{\text{Agua+Glycol}} * C_p * \Delta T = m_{\text{amoníaco}} (h_4 - h_3)$$

Como se tiene el dato del caudal entregado por la bomba centrífuga del intercambiador #1 (57 gpm) a una temperatura de ingreso  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; se realiza el siguiente cálculo matemático para determinar el flujo másico de amoníaco mínimo para tal aplicación.

$$Q_{\text{glycol}} = 57 \text{ gpm} \approx m_{\text{glicol}} = 14\,664 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

**Nota<sub>32</sub>:** Se utilizó una densidad en la disolución de agua + glycol igual  $1134 \text{ kg/m}^3$ .

Ahora, al sustituir lo anterior en la fórmula anterior se obtiene:

$$m_{\text{amoniaco}} = \frac{m_{\text{Agua+Glycol}} * C_p * \Delta T}{h_{\text{vaporización}_{\text{NH}_3}}}$$

$$m_{\text{amoniaco}} = \frac{32\,260,8 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} * 0,909 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}} * (23 - 5)^{\circ}\text{F}}{565 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}} \Rightarrow 935 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}$$

➔ Flujo másico NH<sub>3</sub> necesario para el intercambiador #1

### “Intercambiador de calor #2”

Para el intercambiador de calor #2, se aplica el mismo procedimiento realizado anteriormente.

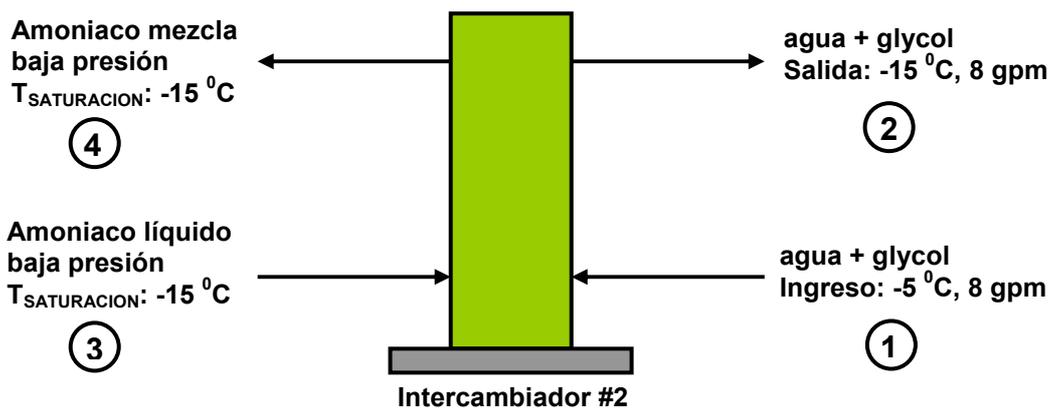


Figura #5: “Diagrama general del intercambiador de calor #2”

Como se tiene el dato del caudal que la bomba centrífuga del intercambiador #2 entrega (8 gpm) a una temperatura de ingreso  $-5^{\circ}\text{C}$ ; se realiza el siguiente cálculo matemático para determinar el flujo másico de amoniaco mínimo para tal aplicación.

$$Q_{\text{glycol}} = 8 \text{ gpm}_{\text{glycol}} = 2\,058 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Ahora, al sustituir lo anterior en la siguiente fórmula se obtiene:

$$m_{\text{amoniaco}} = \frac{m_{\text{Agua+Glycol}} * C_p * \Delta T}{h_{\text{vaporización}_{\text{NH}_3}}}$$

$$m_{\text{amoniaco}} = \frac{4\,537,6 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} * 0,909 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^{\circ}\text{F}} * (23 - 5)^{\circ}\text{F}}{565 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}} \Rightarrow 132 \frac{\text{lb}}{\text{hr}} \longrightarrow \text{Flujo másico NH}_3 \text{ necesario para el intercambiador \#1}$$

A continuación, se muestra los datos finales del flujo másico de amoniaco requerido para los dos intercambiadores de calor.

**Tabla #16: “Flujo másico de amoniaco para la carga térmica de los intercambiadores de calor #1 y #2”**

Equipo	Flujo enfriamiento		Flujo másico de NH <sub>3</sub>		
	lb/hr	gpm	lb/hr	Presión	Temperatura
Intercambiador #1	14 664	57	<b>935</b>	30 psia	5 °F (-15 °C)
Intercambiador #2	2 058	8	<b>132</b>	30 psia	5 °F (-15 °C)

**Nota<sub>32</sub>:** Como conclusión, se requiere como mínimo de 1 067 lb/hr de amoniaco al estado termodinámico de succión señalado en la Tabla #16.

### Conclusión general:

Una importante conclusión del estudio y análisis anterior, es que el compresor reciprocante de pistón Vilter (**70 ton/hr**) tiene la capacidad suficiente para manejar la demanda de la carga térmica de los equipos antes mencionados (**50 Ton/hr**); siempre que se mantenga el ingreso de jugo A de piña a 12 °Brix de [**10 – 15**] gpm, cuando se procese jugo pasteurizado de piña en el Pasteurizador APV.

## **4.9 Revisión de la instalación del sistema de refrigeración**

Según la información suministrada por el fabricante del compresor VILTER de la tabla #15 (Pág. 88), la capacidad del compresor de refrigeración es de 70 toneladas / hora teniendo presente una tubería de succión y descarga de 4 pulg (101,6 mm) y 3 pulg (76,2 mm).

### **Análisis de la situación actual:**

La instalación actual del sistema de refrigeración presenta ciertas errores que reducen la capacidad del compresor y la eficiencia del sistema; los cuáles son:

- 1.** La succión principal del compresor, esta formada por dos tuberías (#1 y #2) que provienen de los intercambiadores #1 y #2 (ver planos adjuntos); las cuáles presenta un diámetro nominal de 2 pulg (50,8 mm).
- 2.** Existe una válvula reguladora de presión (tipo solenoide) **HANSEN HA4AS** con un diámetro nominal de puerto 1 ¼ de pulgada en la línea #1 de succión que viene del intercambiador #1. Esta reducción de tubería, provoca una disminución del flujo refrigerante y además ocasiona una caída de presión; la cuál actúa (a menor grado) como un dispositivo de expansión térmica. Lo anterior provoca una disminución de la capacidad del compresor VILTER.
- 3.** Hay secciones importantes como la de estrangulación del R-717 para el intercambiador #2, donde el by – pass (ver planos “sistema refrigeración R-717”) no tiene un dispositivo de expansión en caso que la válvula de expansión termostática deba salir de operación.
- 4.** Y como último aspecto, hay tramos de tubería donde no existen válvulas de corte (globo) y filtros; dispositivos importantes para labores de mantenimiento.

Para poder mejorar la capacidad de refrigeración del compresor, es necesario cambiar la tubería de succión a un diámetro nominal de **3 pulg** (76,2 mm) y cambiar la válvula reguladora de presión **HANSEN HA4AS** de la línea #1 a un diámetro nominal del puerto de **3 pulg** (76,2 mm). Cabe señalar que la longitud aproximada de la línea de succión es de 9 metros.

La recomendación anterior se dedujo, a partir de un procedimiento de cálculo para las líneas de succión y descarga según el Fabricante VILTER (ver anexo).

#### **4.9.1 Tonelaje teórico y real en la línea de succión**

Como se especificó anteriormente, es posible hacer una estimación de la capacidad de refrigeración (toneladas /hora) por medio de un catálogo de la compañía VILTER.

Seguidamente, se presenta una tabla que muestra la capacidad de refrigeración a partir del diámetro nominal de succión.

**Tabla #17: “Capacidad de refrigeración según el diámetro nominal de la tubería de succión en amoniaco”**

<b>Diámetro nominal</b>	<b>Temperatura de saturación</b>		
	<b>0 °F</b>	<b>5 °F</b>	<b>20 °F</b>
<b>pulgadas</b>			
1 ¼	10,1	11	12,95
2	<b>29,6</b>	<b>32</b>	<b>38</b>
2 ½	47	50	60
3	84,2	107	90
4	<b>172</b>	<b>184</b>	<b>218</b>

**Nota<sub>33</sub>:** La información anterior, es tomada de la tabla 1-B “Capacidad (Toneladas) por línea de succión (ver anexo).

**Nota<sub>34</sub>:** Estos valores se obtuvieron al asumirse una caída de presión de 1 psig (0,068 bar) por cada 100 pies.

**Nota<sub>35</sub>:** Como dato adicional, la información es basada a partir de una cédula 40 para las tuberías de succión (hierro negro).

### **Análisis de la capacidad de refrigeración:**

Como actualmente se tiene instalado una tubería de succión **2 pulg.** (50,8 mm), esto significa que tiene una capacidad máxima aproximada de **32 toneladas/ hora**.

Pero como en la línea #1 existe una reducción por parte de válvula reguladora de presión 1 ¼ pulg (32 mm) , donde según la tabla anterior la capacidad es de **11 toneladas/ hora**; lo anterior demuestra una disminución de la capacidad de refrigeración.

Si por el contrario, se cambiara la tubería de succión a un diámetro nominal de **3 pulgadas** (76,2 mm), la tubería podría permitir hasta una capacidad de **107 toneladas/ hora** a una temperatura de saturación **5 °F** y a una presión de **20 psig**.

Por otro lado, al reemplazar la válvula reguladora de presión **HANSEN HA4AS** con un diámetro del puerto de **3"** (ver anexo), tendría una capacidad de hasta **129 toneladas/ hora**, asumiendo una caída de presión de 2 psig.

Como actualmente no se está procesando jugo pasteurizado A a 12 °Brix, la carga térmica máxima aproximada es de **[20 –28] toneladas por hora**; la cuál puede ser manejada adecuadamente por el sistema de refrigeración actual.

Es indispensable realizar las modificaciones anteriormente señaladas, para mejorar la capacidad de refrigeración del sistema.

#### **4.10 Estimación económica de la modificación**

Como todo proyecto, es importante respaldarlo con el respectivo costo económico.

Para poder llevar a cabo la modificación de la tubería de succión del sistema de refrigeración en amoniaco, se requiere del siguiente gasto económico.

**Tabla #18: “Estimación del costo económico para la modificación de la tubería de succión – Compresor Vilter”**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo</b>
Tubería de Hierro Negro, 3 pulg , cédula 40	12 m	\$ 82,00
Codo 90°, 3 pulg , cédula 40	6	\$ 19,00
Válvula Reguladora Presión HANSEN HA4AS, 3 pulg	1	\$ 1 153,00
Montaje de la Tubería de Succión	----	\$ 1 450,00
Aislamiento de la Tubería	----	\$ 600,00
<b>Subtotal</b>		<b>\$ 3 304,00</b>
<b>Total (+ 10% Improvistos)</b>		<b>\$3 634,40</b>

**Nota<sub>36</sub>:** Las cifras anteriores corresponden a una tasa de cambio del dólar a colones de ¢371,5, tomado a finales del mes de octubre 2002.

Los costos para la modificación de la tubería de succión, son tomados de las respectivas cotizaciones de los proveedores (ver anexo).

#### **4.11 Conclusiones del estudio de refrigeración en R717**

Las siguientes son las conclusiones del estudio de refrigeración para la planta de piña – Florida Products S.A

- 1.** El estado termodinámico del amoniaco (**baja presión**) es: **5 °F** (-15 °C) a una presión de **20 psig** (2,41 bar).
- 2.** La carga térmica de refrigeración es de **50 toneladas / hora** incluyendo el Pasteurizador APV de Jugo A; el cuál debe tener un flujo de ingreso máximo de **15 gpm**.
- 3.** La carga térmica para cada un tanque de 5000 galones de jugo concentrado A 60,6 °Brix es de **7,2 toneladas / hora**.
- 4.** El compresor recíprocante de pistón VILTER tiene una capacidad teórica de **70 toneladas / hora**, con un diámetro nominal de 4 pulg (101,6 mm) para succión y de 3 pulg (72,6 mm) para la descarga.
- 5.** Actualmente el compresor recíprocante de pistón VILTER tiene una capacidad aproximada de **32 toneladas / hora**, con un diámetro nominal de 2 pulg (50,8 mm) en succión y 2 pulg (50,8 mm) en la descarga.
- 6.** Las líneas de succión #1 presenta una tubería de 2 pulg (50,8 mm); lo cuál reduce la capacidad de refrigeración del compresor.
- 7.** Existe una electroválvula reguladora de presión (HANSEN) con un diámetro nominal del puerto 1 ¼ pulg (32 mm); lo que reduce la capacidad de refrigeración del compresor.
- 8.** No se produce Jugo A de Piña Pasteurizado debido a la deficiencia del sistema de refrigeración para manejar la carga térmica.
- 9.** Se determinó que el flujo máximo de entrada de Jugo A de Piña a 12 °Brix al Pasteurizador APV es de **15 gpm**.

- 10.** El ingreso de jugo A de piña a 12 °Brix al Pasteurizador APV, es directamente proporcional a la carga térmica, y la demanda de agua + glycol para su proceso.
- 11.** Realizando las modificaciones y correcciones recomendadas para la “instalación del sistema de refrigeración en amoniaco”, es posible producir jugo A de piña pasteurizado y la prevista para la instalación de un cuarto tanque (Blender) de 5000 galones Jugo A Concentrado a 60,6° Brix.
- 12.** Si se instalara otro tanque de almacenamiento (Blender) para jugo concentrado A de piña, la carga térmica aproximada que el sistema de refrigeración debe manejar es de **58 toneladas por hora**.
- 13.** Las bombas centrífugas que circulan la disolución de agua + glycol, funcionan adecuadamente según las condiciones del trabajo señaladas.

## **4.12 Recomendaciones del estudio de refrigeración R717**

1. Es necesario cambiar la tubería #1 de succión (Intercambiador #1) a un diámetro nominal de 3" (72,6 mm), material: **hierro negro** y **cédula 40**; la cuál presenta una longitud de 9 m.
2. Cambiar la válvula reguladora de presión **HANSEN HA4AS** a un diámetro nominal del puerto de **3 pulg** (72,6 mm).
3. Como el Pasteurizador APV para jugo A es el equipo más crítico de enfriamiento; es necesario regular y controlar el flujo de entrada de jugo de piña a 12<sup>0</sup>Brix: [**10 – 15**] gpm.
4. Dado que el anticongelante ethylglycol es un alcohol volátil, es recomendable controlar la concentración por volumen del 20%; a través de un análisis químico mensual.
5. Para el sistema de circulación de agua + glycol, es indispensable asegurarse que no exista presencia de aire; dado que las bombas centrífugas pueden ser afectadas por la cavitación.
6. Se recomienda confeccionar un "tanque de trasiego" para el retorno del agua + glycol, con el volumen adecuado según el caudal mínimo requerido que debe entregar cada bomba centrífuga para el enfriamiento.
7. Un aspecto importante es la instalación de termopozos (indicadores de temperatura), para controlar las temperaturas de entrada y salida del fluido secundario de enfriamiento y amoniaco en cada uno de los intercambiadores de calor.

## **Capítulo 5**

### **5.1 Bibliografía**

- Valverde, Jorge. **“Folleto Administración del Mantenimiento”**, Cartago; 1999.
  
- Pita. Edward. G **“Principios y Sistemas de Refrigeración”**, Tercera Reimpresión Editorial Limusa, 1998 , Noriega Editores, Banderas, México DF.
  
- Cengel, Yunnus & Boles, Michael. **“Termodinámica”**; Tomo I Segunda Edición, Editorial McGraw – Hill, México 1996.
  
- Vilter, Compresores. **“Diseño de líneas de succión y descarga R717”**.
  
- Asociación Americana de Ingenieros en Calor, Refrigeración y Aire Acondicionado (ASHRAE). **“Manual y Teoría de Refrigeración en Amoniaco”** , 1994.

## **5.2 Anexo #1: PMP – Planta Piña**

Este anexo contiene la siguiente información:

- Manuales de mantenimiento preventivo correspondiente a varias máquinas de la planta de producción de piña.
  
- Análisis de los gantt's anuales por sección productiva; donde se ubica la distribución de las inspecciones durante 1 año.
  
- Tablas que muestran la disponibilidad actual y recomendada para cada sección productiva de la planta de producción de piña.
  
- También el formato del índice de funcionamiento global: **“Control de paros por máquina”**.

### **5.3 Anexo #2: Análisis económico del costo MOD – PMP**

Este anexo contiene todo el análisis de costos para determinar el costo por mano de obra directa (**MOD**); para la implementación del programa de mantenimiento preventivo de la planta de piña.

## **5.4 Anexo #3: Cotizaciones**

Las cotizaciones corresponden al costo económico que la empresa Florida Products S.A debe hacer para modificar la tubería de succión del compresor Vilter.

## **5.5 Anexo #4: Fotografía de los equipos de producción**

Seguidamente, se describen algunos de los equipos que se tomaron para el análisis del estudio de refrigeración para la planta de piña.

En el caso del Evaporador TASTE y su sistema de condensado de esencia, se guarda tal información por confidencialidad de la empresa Florida Products S.A

### **“Tanques de almacenamiento para jugo concentrado de piña”**



**Tanque de almacenamiento para  
jugo concentrado de piña (5000 galones)**



**Tanques de almacenamiento de jugo concentrado de piña**

## “Bombas centrífugas del sistema de enfriamiento agua + glycol”



**Bomba Centrífuga #1 - Intercambiador #1**

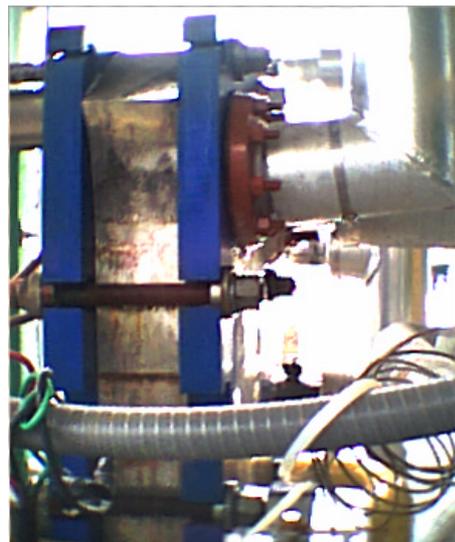
**Potencia:** 10 hp (7,46 kW)  
**Voltaje:** 480 V  
**Impulsor cerrado:** 6 ¾ pulg  
**Velocidad:** 3455 rpm



**Bomba Centrífuga #2 - Intercambiador #2**

**Potencia:** 1 hp (0,746 kW)  
**Voltaje:** 480 V  
**Impulsor cerrado:** 4 7/16 pulg  
**Velocidad:** 3455 rpm

## “Intercambiador tipo inundado #1 – agua + glycol - amoniaco”



**Intercambiador #1 de calor tipo inundado**  
Diseñado para la transferencia de calor con amoniaco y disolución de agua + etilenglycol

### “Tanque enchaquetado de esencia líquida de piña”



**Tanque de almacenamiento de esencia:**  
tiene una capacidad de 600 galones

### “Pasteurizador APV para jugo de piña simple”



**Vista frontal  
Pasteurizador APV**



**Vista lateral izquierda  
Pasteurizador APV**

Las tuberías cubiertas con aislante trasiegan el agua + glycol que enfrían el jugo de piña que sale de la sección de precalentamiento.

## “Tubería de succión para el sistema de refrigeración en amoníaco (R717) – Planta de piña”



**Compresor recíprocante de pistón Vilter**

**Potencia:** 50 Hp (37,3 kW)

**Voltaje:** 480 V

**Capacidad:** 70 toneladas de refrigeración por hora



**Válvula reguladora de presión para amoníaco**

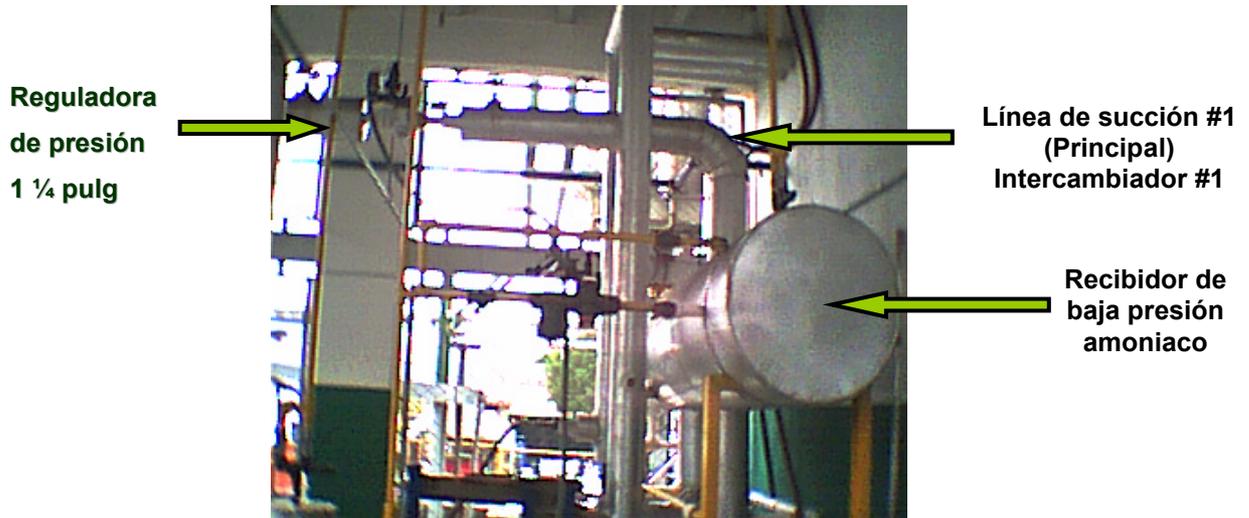
**Marca:** HANSEN

**Modelo:** HA4AS

**Diámetro de puerto:** 1 ¼ pulg (32 mm)

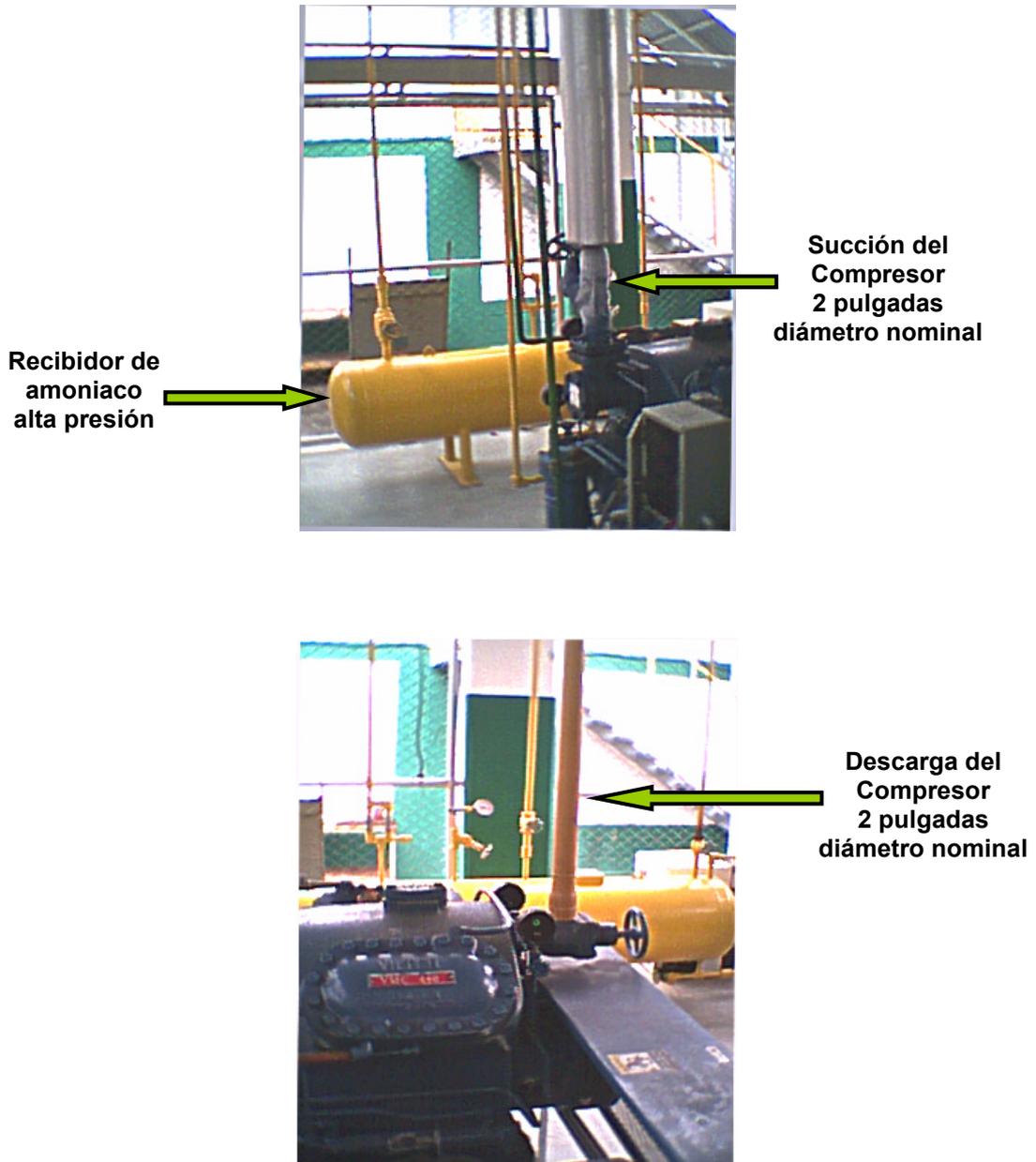
Como se mencionó anteriormente, la válvula reguladora de presión debe ser cambiada a un diámetro de puerto de 3 pulg, para una línea de succión de 3 pulgadas.

### “Instalación actual de la línea de succión a 2 pulgadas”



El cambio recomendado de la tubería de succión para el sistema de refrigeración en amoniaco de la planta de piña, se refiere a la **línea #1 de succión**. Debido principalmente a que, la mayor carga térmica demandada (85%) por los equipos de producción es manejada por el intercambiador #1 tipo inundado; por tal motivo se debe cambiar la tubería de succión de **2 a 3 pulgadas**.

## “Tuberías instaladas actualmente en el compresor de pistón para amoníaco Vilter”



Es importante retomar que para una máxima capacidad del compresor, es necesario que la tubería de succión presente un diámetro nominal de 3 pulg; y la descarga un diámetro nominal de 2 pulgadas. Es indispensable mantener un relación de una pulgada de diferencia entre la succión y la descarga

## **5.6 Anexo #5: Información técnica de los equipos**

Este anexo contiene las “curvas de rendimiento” para cada una de las bombas centrífugas que forman parte del estudio de la carga térmica y refrigeración.

Además, se adjunta el procedimiento para el cálculo de líneas de succión y descarga según el fabricante Vilter.

## **5.7 Anexo #6: Dibujos en Autocad 2D**

Se adjunta los planos en formato A3 para cada uno de los dispositivos y equipos que involucran el sistema de refrigeración y el proceso de producción.

## **5.8 Anexo #7: Propiedades Termofísicas para Fluidos**

Adjunto se localiza la información debidamente señalada de los fluidos involucrados para el estudio de la carga térmica; como: calor específico, entalpía, densidad, etc.