

Universidad de Matanzas  
Sede Camilo Cienfuegos  
Facultad de Ciencias Técnicas  
Departamento de Química



## TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico

**Título:** Propuesta de un sistema de calentamiento del líquido de cobertura para las rodajas de piña en conserva en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”.

**Autor:** Maité Musegue Sanabria.

**Tutores:** MSc. Luis A. Olivera Díaz.

MSc. Ana Edelys Santana Lantigua.

Matanzas, Cuba. 2021

## **Declaración de Autoridad**

Mediante este medio declaro ser la única autora de este Trabajo de Diploma. Autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y a la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” el uso del mismo con el propósito que estimen conveniente.

Para que así conste firma:

---

Maité Musegue Sanabria

## Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Presidente del Tribunal

---

Miembro del Tribunal

---

Miembro del Tribunal

---

Evaluación 

---

Fecha 

---

## **Pensamiento**

*“Un viaje de mil millas empieza con un primer paso”.*

*Lao - Tsé*

## Dedicatoria

A la memoria de mi Coti.  
Ojalá te enorgullezcas de mis resultados.

## **Agradecimientos**

Con la mayor satisfacción quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

- A mi mamá por ser la persona que más se ha esforzado por lograr mis sueños.
- A mi familia por apoyarme siempre en todo, especialmente a Pipo.
- A Dianelys y a mi papá por estar siempre presentes brindándome toda la ayuda posible.
- A mis tutores Olivera y Ana Edelys por dedicarme su tiempo y brindarme su ayuda incondicionalmente.
- A mis amigos por compartir conmigo todos estos años los mejores y peores momentos.
- A mi novio por apoyarme, comprenderme, soportarme y estar siempre a mi lado dándome amor.
- A todos los trabajadores del Combinado por brindarme sus conocimientos y dedicarme su tiempo.

A todos MUCHAS GRACIAS.

## Resumen

El presente trabajo se realiza en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” ubicada en el municipio de Jagüey Grande provincia de Matanzas. El objetivo de la investigación es proponer un sistema de calentamiento para el líquido de cobertura de las rodajas de piña en conserva. A partir de las regulaciones que establece el Artículo 1 del Decreto - Ley No. 9 “Inocuidad Alimentaria” aprobado el 30 de octubre del 2020, es que surge la propuesta, pues con ella se garantiza la eficiencia del proceso y la calidad e inocuidad del producto final. Para ello, se describe el proceso tecnológico actual de elaboración del producto. Se plantean las metodologías a seguir para el balance en el tanque de líquido de cobertura; así como los cálculos de bomba para el trasiego del jarabe y para la evaluación del intercambiador de calor. Además, se realiza una valoración integral de la propuesta, a partir de la estimación de los costos de inversión y se plantean los cálculos para determinar el ahorro de agua y combustible.

## **Summary**

This work is carried out at the Combinado Industrial UEB “Héroes de Girón” located in the municipality of Jagüey Grande, Matanzas province. The objective of the research is to propose a heating system for the covering liquid of the canned pineapple slices. Based on the regulations established in Article 1 of Decree - Law No. 9 "Food Safety" approved on October 30, 2020, the proposal arises, since it guarantees the efficiency of the process and the quality and safety of the Final product. For this, the current technological process of product elaboration is described, the methodologies to be followed for the balance in the cover liquid tank are proposed; as well as the pump calculations for the transfer of the syrup and for the evaluation of the heat exchanger. In addition, a comprehensive assessment of the proposal is carried out, based on the estimation of investment costs and calculations are made to determine the saving of water and fuel.

# Índice

Introducción .....	1
Capítulo 1: Análisis bibliográfico .....	3
1.1. La piña. Propiedades y panorama mundial .....	3
1.2. Piña en conserva.....	5
1.2.1. Etapas del proceso de elaboración de las rodajas de piña en conserva.....	5
1.2.2. Líquido de cobertura. Tipos y clasificación.....	8
1.3. Teoría del flujo de fluidos a través de tuberías, válvulas y accesorios .....	9
1.3.1. Flujo de fluidos a través de tuberías.....	9
1.3.2. Flujo de fluidos a través de válvulas y accesorios .....	11
1.4. Bombas Hidráulicas .....	11
1.4.1. Tipos de bombas.....	12
1.5. Recuperación del condensado.....	14
1.6. Intercambiadores de calor .....	17
1.6.1. Clasificación de los Intercambiadores de calor .....	18
Conclusiones parciales del capítulo 1 .....	20
Capítulo 2: Materiales y métodos .....	22
2.1. Caracterización de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” .....	22
2.2. Descripción tecnológica del proceso productivo .....	24
2.3. Metodología para el balance en el tanque del líquido de cobertura.....	25
2.4. Metodología para la evaluación de la bomba a emplear para el trasiego de líquido de cobertura .....	27
2.4.1. Cálculo hidrodinámico de la bomba .....	27
2.4.2. Cálculo de la carga de la bomba.....	28
2.4.3. Cálculo de las pérdidas en tuberías y accesorios $H_f$ .....	28
2.4.4. Cálculo del NPSH del sistema .....	30
2.5. Metodología para la evaluación del intercambiador de calor .....	31
2.5.1. Cálculo de la eficiencia del intercambiador ( $\xi$ , %).....	33
2.5.2. Cálculo de la relación de capacidad calorífica (Cr).....	34
2.5.3. Cálculo del área de la sección transversal del Intercambiador de calor (A, m <sup>2</sup> ) .....	34
2.6. Metodología para realizar la valoración integral de la propuesta .....	35
2.6.1. Cálculo del ahorro de agua .....	35
2.6.2. Cálculo del ahorro de combustible.....	36

<b>2.6.3. Estimación de los costos de inversión .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.4 Cálculo de los costos de operación .....</b>	<b>37</b>
<b>2.6.5. Cálculo del plazo de recuperación de la inversión .....</b>	<b>37</b>
<b>Conclusiones parciales del capítulo 2 .....</b>	<b>38</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>39</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>40</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>41</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>47</b>

## Introducción

Actualmente la ciencia y la tecnología de los alimentos representan un renglón importante en el desarrollo de los países. Se denomina tecnología de alimentos a la aplicación de la ciencia en los procedimientos y medios que el hombre emplea en la transformación, conservación, almacenamiento y distribución de los productos al mercado.

El enlatado es un desarrollo relativamente reciente en la larga historia de la conservación de alimentos. Los seres humanos han tenido alimentos secos, salados y fermentados desde antes de la historia registrada. Pero preservar los alimentos por tratamiento térmico y luego sellarlos en recipientes herméticos no apareció hasta fines del siglo XVIII.

Hoy en día el enlatado de alimentos es una de las líneas de producción más vistas dentro de la industria alimenticia. Mayormente este está enfocado en el área de vegetales y frutas, como es el caso de la piña, una de las frutas tropicales más importantes en la producción mundial. Su comercio internacional consiste principalmente en productos procesados, como la elaboración de jaleas, jarabes, helados, jugos, enlatados, bebidas alcohólicas y conservas.

La piña en conserva mantiene las cualidades nutricionales y organolépticas, ya que esta es envasada en su mejor momento de maduración, calidad nutritiva y a pocas horas de la recolección. La rapidez del tratamiento térmico de la conserva y su técnica de esterilización aseguran el mantenimiento del 70 % de las vitaminas originales de la fruta (Scribd, 2011).

La UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” es una industria que se caracterizaba por procesar naranjas, toronjas, entre otros cítricos para obtener jugos naturales, concentrados y otros subproductos. Hace algunos años se puso en práctica un plan de diversificación de las producciones. A raíz de este se han sembrado áreas de frutas tropicales entre las que destaca el mango, la guayaba, la papaya y la piña. Respondiendo a este plan, la empresa ha aumentado sus capacidades, realizando importantes inversiones entre las que se encuentra una línea de conservación de alimentos envasados en latas. Esta línea cuenta con una etapa de cocción (5 marmitas), una

llenadora manual, una tapadora de latas y dos autoclaves estacionarias, una para la esterilización y otra para el enfriamiento.

A partir de las regulaciones que establece el Artículo 1 del Decreto - Ley No. 9 “Inocuidad Alimentaria” aprobado el 30 de octubre del 2020 se encontró ineficiente el sistema actual de calentamiento del líquido de cobertura de las rodajas de piña en conserva en la UEB, ya que al prepararse el jarabe en marmitas y luego ser envasado manualmente, este pierde la temperatura óptima para obtener un producto final con la calidad requerida, por lo que se plantea el siguiente problema:

**Problema científico:**

¿Cómo mejorar el sistema de calentamiento del líquido de cobertura de las rodajas de piña en conserva en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”?

**Hipótesis:**

Si se implementa un nuevo sistema de calentamiento para la elaboración del líquido de cobertura en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón, se podrá garantizar la eficiencia del proceso con la mejora de los portadores energéticos, así como la calidad e inocuidad del producto final.

**Objetivo General:**

- Proponer un sistema de calentamiento para el líquido de cobertura de las rodajas de piña en conserva en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”.

**Objetivos específicos:**

1. Revisar bibliografía relacionada con la conserva de frutas tropicales.
2. Describir el proceso de producción de rodajas de piña en conserva.
3. Proponer metodologías para la evaluación del sistema de bombeo, del intercambiador de calor y la valoración integral de la propuesta.

## **Capítulo 1: Análisis bibliográfico**

En el presente capítulo se realiza una descripción de las características que presenta la piña, así como su aceptación y demanda en el comercio mundial. Se da la definición de rodajas de piña en conserva y se describe el proceso tecnológico de elaboración de este producto. Además, se verifica desde una perspectiva conceptual y bibliográfica términos como flujo de fluidos y su comportamiento, bombas hidráulicas, recuperación del condensado e intercambiadores de calor, con el objetivo de describir las principales herramientas que apoyan el desarrollo de la investigación.

### **1.1. La piña. Propiedades y panorama mundial**

La piña, símbolo de las regiones tropicales y subtropicales tiene gran aceptación en todo el mundo, tanto en forma natural como industrializada, agradando a los ojos, al paladar y al olfato. Por esas razones y por tener una “corona” se tituló como “Rey de las Frutas Coloniales”, conferido por los exploradores europeos, que en el Nuevo Mundo encontraron tan exuberante fruta (Crestani et al., 2010).

La piña forma parte de la familia de las bromelias. Los tipos cultivados pertenecen al género *Ananas* que reagrupa varias especies, entre ellas, la *Ananas comosus*, que es la que se explota con fines comerciales (UNCTAD, 2020). La mayoría son xerófitas epífitas, por lo que pueden vivir sobre otras plantas, usando sus raíces como soporte; esto las hace altamente eficientes en el uso del agua (BAC, 2008). Es una fruta rica en azúcares, vitaminas del grupo A, B, C y E, sales minerales y ácidos orgánicos que explican sus virtudes “dinamizantes”. Su ingrediente activo es la Bromelína, una mezcla de 5 enzimas proteolíticas que difieren unas de otras por su capacidad de oxidar reducir sustratos específicos. Además, es rica en ácido málico, cítrico y ascórbico; sales minerales de calcio, fósforo y hierro; glúcidos como sacarosa, glucosa y levulosa (Castañeda de Pretelt, 2003). Tiene un elevado porcentaje de agua, apenas grasa y es baja en calorías. Los tallos contienen bromelaína, una enzima proteolítica digestiva que actúa como sustitutivo de los jugos gástricos, mejora la digestión y destruye los parásitos intestinales es también utilizada en la industria alimenticia, como ablandador de carnes. Gracias a esta enzima se ejerce una acción normalizadora sobre la secreción y superficie alterada

de las mucosas inflamadas, por lo que se la emplea en los males de la garganta y la boca (Cerrato, 2013).

La piña domina ampliamente el comercio mundial de frutas tropicales a pesar que recientemente ha crecido la competencia de otros frutos. Datos del año 2000 indican que la comercialización mundial de la piña fue de un 51% de un total de 2,1 millones de toneladas de fruta en general. Además, es la fruta tropical mejor posicionada ya que su comercialización se orienta a los principales países desarrollados tales como Estados Unidos, Japón y la Comunidad Económica Europea (Coveca, 2002).

La piña se situó en segundo lugar en la producción mundial gracias a la robusta demanda internacional, satisfecha principalmente por Costa Rica, principal productor y exportador mundial. Experimentó un incremento estimado del 3 % y alcanzó un volumen de producción sin precedentes de aproximadamente 28.3 millones de toneladas en 2018 (FAO, 2020a).

Debido a una expansión del 2% de la superficie cosechada, se prevé que la producción mundial de piña crezca un 2,3% anual, hasta alcanzar los 33 millones de toneladas en 2029. De entre las principales frutas tropicales, la piña es la menos concentrada en términos de distribución geográfica, ya que ningún país produce más del 12% de la producción mundial. Asia está en condiciones de seguir siendo la mayor región productora, con una cuota del 41% de la producción mundial, gracias a los considerables volúmenes de producción de Filipinas, Tailandia, India, Indonesia y China. Salvo en el caso de Filipinas, que exporta alrededor del 16% de su producción, el cultivo de piña en Asia satisface predominantemente la demanda interna y se prevé que crezca en respuesta a los cambios demográficos y al aumento de los ingresos. Análogamente, la producción de piña en América Latina y el Caribe, la segunda mayor región productora, con una cuota del volumen mundial prevista del 36%, se verá impulsada principalmente por la evolución de las necesidades de consumo de la población de la región, cada vez más numerosa y próspera. Según las proyecciones, las exportaciones mundiales de piña aumentarán a un ritmo del 1,5% anual y alcanzarán los 3,6 millones de toneladas en 2029, debido principalmente a un aumento equivalente de la demanda de importaciones de los Estados Unidos de América. Este país, con un volumen de importación previsto

de 1,3 millones de toneladas en 2009, equivalente a una cuota mundial del 35%, debería de seguir siendo el mayor importador mundial, por delante de la Unión Europea, a la que debe corresponder el 28%. En los dos principales mercados de importación, se prevé que los precios unitarios muy bajos seguirán impulsando la demanda de piñas (FAO, 2020b).

## **1.2. Piña en conserva**

Se entiende por piña en conserva el producto preparado con piña madura, fresca, congelada o previamente conservada, conforme con las características de *Ananas comosus* (L) Merr. (*Ananas sativus* (L) Lindl.) y de la que se ha quitado la piel y el corazón; envasado con agua u otro medio de cobertura líquido apropiado; puede contener los edulcorantes nutritivos, aderezos u otros ingredientes adecuados para el producto; y tratado por calor de una manera adecuada, antes o después de ser encerrado herméticamente en un recipiente, a fin de evitar su alteración (Codex, 1981).

### **1.2.1. Etapas del proceso de elaboración de las rodajas de piña en conserva**

Guevara y Cancino (2015) plantean que el proceso de elaboración de las rodajas de piña en conserva se realiza de acuerdo a las siguientes etapas:

#### a) Recepción

En esta etapa se realiza en control de calidad de la materia prima de acuerdo a los requerimientos del proceso (°Brix, pH, textura, tamaño, color, etc) además del registro de los pesos para un control de rendimientos. La Materia prima que no es procesada inmediatamente, debe ser almacenada en refrigeración, donde se debe controlara la temperatura y humedad relativa.

#### b) Pesado

El peso de la materia prima, se considera para llevar acabo los balances de masa y controlar rendimientos.

#### c) Selección - clasificación

La selección se realizará para eliminar toda fruta que presente signos de deterioro, las picadas, enmohecidas, putrefactas, etc. La clasificación se hace para agrupar la fruta

por: estado de madurez, forma, tamaño, color, etc., de este modo darle tratamiento adecuado o separarlas de acuerdo al proceso tecnológico a destinar.

d) Lavado - Desinfectado:

Con el lavado se elimina cualquier partícula extraña que pueda estar adherida a la fruta, se utiliza agua potable. Se puede realizar por inmersión, aspersion o agitación. Una vez lavada la fruta se recomienda un desinfectado, para lo cual se sumerge la fruta en una solución desinfectante por un tiempo entre 5 y 15 minutos dependiendo del desinfectante a utilizar. Generalmente se utiliza el hipoclorito de sodio a 100 ppm de CLR.

e) Pelado

Depende de las características de la fruta y de la capacidad de la planta. Puede ser manual, mecánico, por inmersión en agua caliente o químico

f) Lavado

Después del pelado la fruta es lavada hasta eliminar totalmente la soda.

g) Neutralizado

Consiste en sumergir la fruta lavada en una solución acidificada con ácido cítrico a pH 3.5 con el objeto de neutralizar los posibles remanentes de soda que puedan quedar por efecto del pelado químico.

h) Trozado

Con cuchillos de acero inoxidable o cortadores - rodajadores especiales de acuerdo a la presentación que se le quiere dar al producto final.

i) Blanqueado:

De ser necesario puede realizarse con agua caliente, con vapor o por inmersión de la fruta en soluciones antioxidantes (ácido ascórbico, eritorbato de sodio, mezcla de ácido ascórbico con ácido cítrico, etc). La finalidad de esta operación es:

- Inactivar las enzimas estabilizando así el color y aroma.
- Producir un ablandamiento de la fruta.
- Eliminar el oxígeno ocluido en los tejidos.

- Eliminar el gusto a crudo o gustos desagradables.
- Reducir la carga microbiana.

Es importante hacer énfasis en que después del blanqueado el flujo para elaborar fruta en almíbar a nivel industrial difiere del flujo para elaborar fruta en almíbar a nivel artesanal.

### **Flujo industrial**

#### j) Envasado:

La fruta se acondiciona en envases, para recibir la solución de cubierta que es el jarabe o almíbar que se adiciona a la fruta en caliente a una temperatura no menor a 85°C. La cantidad de fruta en el envase, por lo general, es de 70% y de jarabe 30%, pero esto puede variar.

#### k) Evacuado o Exhausting:

Consiste en hacer pasar los envases abiertos con el contenido (fruta y jarabe) a través de un “túnel” de vapor, con la finalidad de que éste vapor ocupe el espacio de cabeza del producto y contribuya a la formación de un vacío parcial dentro del envase (esto se podrá medir cuando el envase este sellado y frío). El vacío que se debe lograr deberá estar entre 10-15 pulgadas de Hg.

#### l) Sellado de envases:

Inmediatamente después de que los envases salen del Exhauster deben ser sellados o cerrados (para atrapar el vapor que ocupó el espacio de cabeza del producto).

#### m) Tratamiento térmico:

Se realiza en autoclaves. Dependiendo de la variedad de la fruta, se puede aplicar 200 a 220°F por tiempos comprendidos entre 10 a 15 min, en todo caso se requiere lograr una UP apropiada. En el mismo equipo se realiza el enfriado, para lo cual se elimina el vapor y se hace ingresar aire y agua. Posteriormente los envases son limpiados y secados, quedando listos para su etiquetado y empaclado en cajas.

### **Flujo artesanal**

#### j) Cocción de la fruta en el jarabe:

La fruta acondicionada se coloca dentro de la olla en el que se encuentra el almíbar preparado y se cuece por unos minutos, con la finalidad de ablandar la fruta, inactivar carga microbiana y llevar a una correcta temperatura de envasado.

k) Envasado:

La fruta luego de la cocción es envasada en frascos de vidrio, cubriéndola con el almíbar caliente y cerrándolo inmediatamente.

### **1.2.2. Líquido de cobertura. Tipos y clasificación**

Según Navarrete (2011), los líquidos de cobertura se utilizan para varias razones: para transferir el calor necesario para la esterilización del producto, quedando protegidas de un deterioro temprano, ya que el calor no se puede aplicar directamente del recipiente a la fruta, pues ésta se puede quemar y dañar. Además que las mantiene suaves y apetitosas, sin que pierdan su estructura. También se evita la oxidación de la fruta protegiéndola del contacto con el oxígeno del medio, esto evita que la fruta cambie de color y que pierda sus características sensoriales.

Los medios de cobertura pueden ser:

- Agua: en cuyo caso el agua o agua con el jugo de la fruta es el único medio de cobertura líquido.
- Jugo: en cuyo caso el jugo de la fruta es el único medio de cobertura líquido.
- Jarabe: en cuyo caso el agua o el jugo de la fruta están mezclados con una o más de las siguientes sustancias edulcorantes nutritivas: sacarosa, azúcar invertido, dextrosa, jarabe de glucosa.

En la elaboración de jarabes es muy importante tener en cuenta el grado Brix que se desea alcanzar, debido a que este tipo de líquido va a incidir directamente sobre el producto al cual se le va a añadir (Navarrete, 2010).

La concentración de azúcar se equilibra entre la fruta y el líquido de cobertura. Para productos enlatados en almíbar, existe una clasificación que proporciona la concentración mínima tolerada de azúcar en el jarabe del producto elaborado y que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1.1. Clasificación del jarabe según la concentración de azúcar

Muy diluido	10° Brix
Diluido	14° Brix
Concentrado	18° Brix
Muy concentrado	22° Brix

Fuente: (Navarrete, 2011)

El líquido de cobertura es también un ingrediente más para mejorar el sabor del alimento, permitiendo que los componentes incluidos en este se distribuyan por igual (VeISid, 2009).

Los productos sólidos se envasan con un líquido de cobertura a base de agua desmineralizada. El líquido de cobertura se debe adicionar a una temperatura de 90° C como mínimo. Si el producto mismo ya tiene una temperatura superior a los 82° C, no es necesario efectuar la preesterilización (Navarrete, 2011).

### **1.3. Teoría del flujo de fluidos a través de tuberías, válvulas y accesorios**

#### **1.3.1. Flujo de fluidos a través de tuberías**

El método más común para transportar fluidos de un punto a otro es impulsarlo a través de un sistema de tuberías. Las tuberías de sección circular son las más frecuentes, ya que esta forma ofrece no sólo mayor resistencia estructural sino también mayor sección transversal para el mismo perímetro exterior que cualquier otra forma (Pereira, 2020). La tubería es un ensamble de tubos y componentes de tubería como bridas, accesorios, pernos, juntas, válvulas, usadas para transportar, distribuir, mezclar, separar, descargar, medir, controlar o repulsar los flujos de un fluido. Estas tuberías son de material, diámetro y longitud variable (Aguilar, 2014).

A nivel mundial el transporte de líquidos y gases a través de conductos tubulares cerrados es muy común como consecuencia de los adelantos de la tecnología industrial (Ávila *et al.*, 2007). Vega y Rodríguez, (2007) define este término, en tecnología, como

el tubo empleado para transportar de un punto a otro líquido, sólidos fragmentados, mezclas de líquidos y sólidos, así como gases.

Streeter *et al.*, (1999) determina que el flujo de fluidos a través de conductos cerrados, involucra pérdidas de energía, debidas principalmente a la naturaleza de las paredes de los tubos (rugosidad), en el caso de secciones rectas de tuberías. Mientras que Palacios (2018) expone que las pérdidas primarias son pérdidas de carga debidas a la fricción del fluido contra sí mismo y contra las paredes de la tubería rectilínea. Conforme un fluido pasa de una tubería pequeña a otra más grande a través de una expansión súbita, su velocidad disminuya de manera abrupta, lo que ocasiona una turbulencia, que a su vez genera una pérdida de energía.

Dentro de la dinámica de éstos, siempre ocurre fricción de los mismos con la tubería y en diferentes accesorios, ocasionando pérdidas de presión en el flujo a lo largo de su trayectoria (Anaya *et al.*, 2014).

La pérdida de energía por fricción es la debida al rozamiento del fluido con las paredes de la tubería o del conducto. Esta pérdida, continúa en la dirección del flujo, puede resultar considerable en tramos largos y, por el contrario, ser despreciable en tramos cortos (Yambombo, 2012).

En las tuberías, generalmente se tienen dos tipos de flujos laminar y turbulento, dependiendo de la velocidad del fluido y el diámetro de las tuberías por donde fluye. En la práctica, es más frecuente un flujo turbulento (Clayton, 2002).

En 1883, fue Osborne Reynolds quien al fin abre el camino al tratamiento científico del problema, al reconocer la existencia del flujo laminar y el turbulento, fijar sus límites y utilizar el análisis dimensional para proponer una fórmula racional para expresar la resistencia al flujo en conductos (Pérez, 2002).

Además, Osborne Reynolds desarrolló a través del análisis dimensional una ley racional de resistencia al flujo, basándose en la suposición de que la resistencia dependía del diámetro, la longitud, y la condición de la superficie interior de la tubería; de la viscosidad y densidad del fluido y de la velocidad media del flujo a través de la tubería (Pérez, 2002).

Amaro y Hernández (2015) establecen que en los casos de corriente fluida laminar analizados comúnmente en los libros de mecánica de fluidos de pre - grado, no se toma absolutamente en consideración el cambio de temperatura del flujo y, por consiguiente, la viscosidad del líquido tanto en los límites de la sección transversal, como a lo largo del flujo, es decir, se suponía una temperatura constante en todos los puntos del flujo.

### **1.3.2. Flujo de fluidos a través de válvulas y accesorios**

Las válvulas son dispositivos mecánicos cuya función es la de controlar los fluidos en un sistema de tuberías. El Comité Europeo de Normalización (CEN) en su Norma EN-736-2 define las Válvulas como aquel componente de tuberías que permite actuar sobre el fluido por apertura, cierre u obstrucción parcial de la zona del paso o por derivación o mezcla del mismo (A Company of the ARI Armaturen Group, 2021).

Hay dos métodos principales usados para clasificar válvulas. Estos incluyen el método de control donde el mecanismo que usa la válvula para controlar el flujo depende del tipo y la situación del elemento de cierre de esta; y la función de la válvula que incluye detener e iniciar el flujo, limitarlo y actuar como un cheque de no retorno del mismo. Según su diseño existen válvulas de puerta, de globo, de mariposa, reductoras, de diafragma, entre otras (Hidrocúcuta S.A.S., 2019).

Los acoplamientos o accesorios para conexión se clasifican en: de derivación, reducción, ampliación y desviación. Los accesorios como tes, cruces, codos con salida lateral etc., pueden agruparse como accesorios de derivación (León *et al.*, 2019).

### **1.4. Bombas Hidráulicas**

Una bomba es una máquina hidráulica que transforma la energía, generalmente energía mecánica con la que es accionada en energía hidráulica del fluido incompresible que mueve (Fernández *et al.*, 2006). El fluido incompresible puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura, todas ellas relacionadas según el principio de Bernoulli (Gutiérrez y Gracián, 2017).

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial

requeridas. Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Las bombas centrífugas tienen un uso muy extenso en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier servicio. Las más comunes son las que están construidas bajo normativa DIN 24255 (en formas e hidráulica) con un único rodete, que abarcan capacidades hasta los 500 m<sup>3</sup>/h y alturas manométricas hasta los 100 m con motores eléctricos de velocidad estándar (Vega, 2008).

Esta normalización permite unificar la misma pieza a un gran número de tamaño de bombas, facilitando así el servicio de recambios al reducir la variedad de piezas. La ejecución estándar con cierre mecánico o empaquetadura es adecuada para elevar líquidos con temperaturas hasta 100 °C. Su diseño permite la revisión completa de todas las partes giratorias e internas, sin necesidad de desconectar el cuerpo de bomba de las tuberías de aspiración e impulsión. No es necesario desplazar tampoco el motor, si se ha provisto de un manguito de acoplamiento con distanciador (BombasIdeal, 2018).

Una bomba centrífuga incrementa la energía de velocidad del fluido mediante un elemento rotante, aprovechando la acción de la fuerza centrífuga, y transformándola a energía potencial a consecuencia del cambio de sección transversal por donde circula el fluido en la parte estática (Moyano y Naranjo, 2015).

#### **1.4.1. Tipos de bombas**

##### **Según el principio de funcionamiento**

La principal clasificación de las bombas planteada por Vega (2008) se realiza atendiendo al principio de funcionamiento en el que se basan

- Bomba de desplazamiento positivo o volumétrico, en las que el principio de funcionamiento está basado en la hidrostática, de modo que el aumento de presión se realiza por el empuje de las paredes de las cámaras que varían su volumen. En este tipo de bombas, en cada ciclo el órgano propulsor genera de manera positiva un volumen dado o cilindrada, por lo que también se denominan bombas volumétricas. En caso de poder variar el volumen máximo de la cilindrada

se habla de bombas de volumen variable. Si ese volumen no se puede variar, entonces se dice que la bomba es de volumen fijo. A su vez este tipo de bombas pueden subdividirse en:

1. Bombas de émbolo alternativo, en las que existe uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan por válvulas que abren y cierran alternativamente. Algunos ejemplos de este tipo de bombas son la bomba alternativa de pistón, la bomba rotativa de pistones o la bomba pistones de accionamiento axial.
2. Bombas volumétricas rotativas o rotoestáticas, en las que una masa fluida es confinada en uno o varios compartimentos que se desplazan desde la zona de entrada (de baja presión) hasta la zona de salida (de alta presión) de la máquina. Algunos ejemplos de este tipo de máquinas son la bomba de paletas, la bomba de lóbulos, la bomba de engranajes, la bomba de tornillo o la bomba peristáltica.
- Bombas rotodinámicas, en las que el principio de funcionamiento está basado en el intercambio de cantidad de movimiento entre la máquina y el fluido, aplicando la hidrodinámica. En este tipo de bombas hay uno o varios rodetes con álabes que giran generando un campo de presiones en el fluido. En este tipo de máquinas el flujo del fluido es continuo. Estas turbomáquinas hidráulicas generadoras pueden subdividirse en:
  1. Radiales o centrífugas, cuando el movimiento del fluido sigue una trayectoria perpendicular al eje del rodete impulsor.
  2. Axiales, cuando el fluido pasa por los canales de los álabes siguiendo una trayectoria contenida en un cilindro.
  3. Diagonales o helicocentrífugas cuando la trayectoria del fluido se realiza en otra dirección entre las anteriores, es decir, en un cono coaxial con el eje del rodete.

### **Según el tipo de accionamiento**

Vega, 2008 plantea que las bombas se pueden clasificar según su tipo de accionamiento en:

- Electrobombas, genéricamente, son aquellas accionadas por un motor eléctrico, para distinguirlas de las motobombas, habitualmente accionadas por motores de explosión.
- Bombas neumáticas que son bombas de desplazamiento positivo en las que la energía de entrada es neumática, normalmente a partir de aire comprimido.
- Bombas de accionamiento hidráulico, como la bomba de ariete o la noria.
- Bombas manuales. Un tipo de bomba manual es la bomba de balancín.

### **1.5. Recuperación del condensado**

El condensado es el subproducto de la transferencia de calor en un sistema de vapor. Este se forma en los sistemas de distribución por causas de pérdidas energéticas por radiación o conducción, también en sistemas de calentamiento y equipos de proceso como resultado de la transferencia de calor desde el vapor a la sustancia o material que va a calentar (Guerrero, 2018).

El condensado que se forma en los sistemas de vapor debe ser removido inmediatamente y usado en la alimentación de las calderas ya que este conserva el 25 % de la energía que proporciona la caldera en la producción de vapor y es un subproducto de alto valor al tratarse de agua pura (Sosa, 2013; Guerrero, 2018).

En estos últimos años, la conciencia energética y la percepción medioambiental han transformado el sistema de condensado. Lo que antes era un modesto subproducto de la distribución de vapor se ha convertido hoy día en un recurso muy valioso. El cierre del circuito de calentador / vapor /condensado mediante la recuperación del condensado caliente permite aprovechar las valiosas unidades térmicas que de otra forma se perderían. De todas las opciones para ahorrar energía en un sistema de suministro de vapor, la recuperación del condensado es la opción principal (Rabelo, 2011).

Con un sistema de recuperación de condensados de vapor de agua se recupera la masa de agua tratada, debido a que el condensado que se forma en los equipos del proceso y líneas de vapor se reutiliza como agua de alimento para la caldera; asimismo se recupera la energía térmica contenida en el condensado, debido a que la cantidad de calor que se necesita para llevar a ebullición el agua de la caldera es menor (Rossi, 2015).

Los beneficios obtenidos a partir de la implementación de dicho sistema son la reducción del combustible necesario para generar el vapor y la reducción en los químicos utilizados para tratar el agua y el combustible. El vapor que se condensa tiene la característica de contener calor sensible, sin impurezas disueltas (Rossi, 2015).

La utilización del condensado reduce la cantidad de combustible necesario que equivale a menor contaminación del aire porque se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub>. (TLV, 2021).

El vapor que se condensa tiene dos calidades: primero, contiene calor en una cantidad que puede ser importante comparada con el calor total del vapor. Segundo, el condensado es agua limpia y ya tratada, sin sólidos disueltos, con excepción de los que arrastra en su flujo a través de la tubería (Álvarez, 2016).

Los contaminantes que regresan en el condensado son usualmente hierro y cobre, procedentes de la corrosión de las tuberías, y en menor cantidad sustancias orgánicas cuyo origen es debido al contacto del vapor en las unidades del proceso (González *et al.*, 2000).

Según TLV (2020) este puede ser reusado de varias formas distintas, por ejemplo:

1. Como agua caliente de alimentación, cuando el condensado caliente se regresa al deaerador de la caldera.
2. Como precalentamiento, en algún sistema de calentamiento compatible.
3. Como vapor, si se reutiliza el vapor flash.
4. Como agua caliente, para limpieza de equipos u otras aplicaciones.

En muchos sistemas existen equipos de uso final que trabajan a diferentes presiones. En estos casos el condensado de los equipos que trabajan a mayor presión entra a las trampas como líquido saturado a una relativamente alta presión, y sale de ellas a menor presión. En las trampas ocurre un proceso de estrangulamiento, un proceso a entalpía constante, de modo que la entalpía con que sale el condensado es superior a la entalpía del líquido saturado a la presión reducida. Esto provoca que una parte del condensado se evapore espontáneamente, o sea, un “flasheo” de parte del condensado a vapor de baja presión. El condensado restante queda como líquido saturado a la presión reducida. El vapor flash producido puede ser utilizado en equipos que trabajen a menor presión,

logrando un mejor aprovechamiento de la energía del condensado y una reducción del consumo de combustible en las calderas (Borroto y Rubio, 2007).

Cuando se tiene condensado caliente a una presión inicial, al reducir la presión, esta parte del líquido se evapora nuevamente, formando lo que se conoce como vapor flash (Douglas, 2020).

El vapor flash ocurre debido a que el punto de saturación del agua varía según sea la presión a la que se encuentre sometido este fluido, por ejemplo, es sabido que a condiciones atmosféricas ideales (temperatura ambiente de 25°C, 0 m.s.n.m, y %H.R 50%) el agua se satura y cambia de fase (de líquido a gaseoso o viceversa) a 100°C, y si el agua saturada a 49 una presión mayor, sufre una reducción súbita de presión, parte de esta se evapora, generando lo que se conoce como vapor flash, con el objetivo de compensar el exceso de energía latente contenida en el fluido, ahora pasa a ser evaporado en forma de vapor (TLV, 2020).

Debido a las propiedades físicas, el vapor flash tiene el mismo contenido de calor que el vapor vivo que sale directamente de la caldera. Si se diseña e instala un sistema adecuado de recuperación del vapor flash, el calor latente contenido en el vapor flash puede ser aprovechado en sistemas de precalentamiento de agua de un sistema de un proceso industrial o bien para precalentar el agua de alimentación de la misma caldera, por lo cual se dice que el vapor flash no es diferente al vapor vivo o bien al vapor que sale directamente de la caldera, el nombre utilizado es solo un referente de la forma en como fue generado u obtenido este tipo de vapor, ya que se le dice vapor vivo a todo aquel vapor que es generado directamente en un sistema de calderas, o recuperador de energías de rechazo, en cambio el vapor vivo es producido cuando el condensado con alta presión y temperatura es expuesto a una zona de baja presión, siendo que este cambio de presión que normalmente sucede cuando el condensado atraviesa la trampa de vapor, el condensado de alta temperatura y presión al sufrir este cambio de presión súbito, libera el exceso de energía en forma de vapor, pues no es capaz de contener la energía en presiones inferiores a las que viaja aguas arriba de las trampas de vapor por la que es expulsado, es por esto que el condensado de alta presión y temperatura, se evapora en un porcentaje, que se conoce como vapor flash (TLV, 2020).

La nube de vapor formada por el vapor flash es un subproducto natural de la descarga de condensado. Ya que el vapor flash es de la misma calidad que el vapor vivo. Reutilizar el vapor flash generado por un sistema de alta presión para su uso en un sistema de menor presión puede brindar ahorros de energía considerables además de mejorar el ambiente de trabajo de la planta al reducir las nubes de vapor (TLV, 2020).

## **1.6. Intercambiadores de calor**

Los intercambiadores de calor son dispositivos que transfieren la energía térmica interna entre dos o más fluidos a diferentes temperaturas (Arka y Sunnilbhai, 2016).

Se encuentran presentes en casi todos los sistemas térmicos complejos de las industrias y representan el vehículo de mayor utilización para la transferencia de calor en las aplicaciones de los procesos industriales y domésticos (Gutiérrez *et al.* 2018).

Un intercambiador de calor está constituido por componentes mecánicos los cuales facilitan la transferencia de calor, dichos componentes pueden ser una matriz que contiene el área superficial de intercambio de calor y elementos de repartición de fluidos como cabezales o tanques, generalmente no existen partes móviles en su estructura, sin embargo, existe excepciones como por ejemplo un regenerador rotatorio (Thulukkanam, 2013).

La principal función de un equipo de intercambio de calor es la transferencia de energía entre fluidos. Debido a los elementos que componen un intercambiador de calor, es posible afirmar que su funcionamiento se basa principalmente en el paso de un fluido por un tubo mientras que el otro fluido pasa por el tubo mencionado anteriormente (Jaramillo, 2007).

Existen tres tipos de intercambio de calor que pueden suceder en un intercambiador de calor, los cuales se muestran a continuación:

- Transferencia de calor por convección desde el fluido con dirección a la pared interna del tubo.
- Transferencia de calor por conducción mediante la pared del tubo.
- Transferencia de calor por convección entre el lado externo del tubo y el medio ambiente.

### 1.6.1. Clasificación de los Intercambiadores de calor

Los intercambiadores de calor generalmente son clasificados dependiendo de la disposición de los tubos y el tipo de fabricación. Dentro de la industria se conoce otro tipo de clasificación que está basada en el proceso de transferencia, fase de los fluidos del proceso y mecanismo de transferencia de calor (Thulukkanam, 2013).

Jones (2003) establece la siguiente clasificación según:

#### 1. Arreglo del flujo

- Flujo paralelo: los dos fluidos entran por el mismo extremo y fluyen en el mismo sentido. La temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente.
- Contraflujo: los flujos entran por los extremos opuestos y fluyen en sentidos opuestos. La temperatura de salida del fluido frío puede ser superior a la temperatura de salida del fluido caliente. El caso límite se tiene cuando la temperatura de salida del fluido frío es igual a la temperatura de entrada del fluido caliente. La temperatura de salida del fluido frío nunca puede ser superior a la temperatura de entrada del fluido caliente.
- Flujo cruzado: se utilizan generalmente en el intercambio líquido-gas.

#### 2. Construcción

- Tubo y coraza:

Están compuestos por tubos cilíndricos, montados dentro de una carcasa también cilíndrica, con el eje de los tubos paralelos al eje de la carcasa. Un fluido circula por dentro de los tubos, y el otro por el exterior (Benítez, 2020).

Los componentes principales de su estructura son: tubos, carcasa (coraza), cabezal frontal, cabezal posterior, deflectores y láminas de tubo, así como también los accesorios para realizar las conexiones por donde va a circular el fluido (Kakaç *et al.*, 2012).

Son los tipos de intercambiadores de calor más versátiles que existen en la actualidad. Proporcionan una relación área de transferencia de calor/volumen y peso relativamente elevada, mientras que pueden ser fácilmente limpiados. Ofrecen una gran flexibilidad para cumplir con casi cualquier requerimiento de servicio, mientras que en la actualidad

se disponen de métodos de diseño confiables y factibles, así como también de talleres e instalaciones para efectuar su diseño y construcción con éxito. Pueden ser diseñados para manejar corrientes de fluidos a elevadas presiones con relación al medioambiente, así como también fluidos con diferentes presiones entre sí (Pérez, 2020).

Debido a que pueden ser construidos con un área de transferencia de calor muy elevada en un volumen relativamente pequeño, fabricado de aceros aleados para resistir la corrosión y ser empleados para calentamiento, enfriamiento y para la condensación/ebullición de un rango muy amplio de fluidos, constituyen el tipo de equipo de transferencia de calor más ampliamente usado en la industria actual (Chhabra y Shankar, 2018).

Estos intercambiadores se diseñan de acuerdo a los estándares publicados por la Asociación de Fabricantes de Intercambiadores Tubulares, conocida como TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) (Benítez, 2020).

- Doble tubo o tubos concéntricos

Consta de dos tuberías concéntricas, una en el interior de la otra, de forma que circulen los dos fluidos por el espacio anular y por la tubería interior (Torres *et al.* 2004).

En este tipo de dispositivo el fluido caliente pierde calor entrando al intercambiador por el tubo interno, y el fluido frío adquiere calor pasando por la sección anular, comúnmente conocida como encamisado. Los intercambiadores de calor de tubos concéntricos se componen principalmente de horquillas, las cuales son un arreglo de tubos en forma de U, conformadas por accesorios que cumplen la función de separar los fluidos de trabajo. Estas horquillas se pueden ensamblar de diferente forma, dependiendo de los materiales disponibles o del diseño propuesto para una determinada necesidad. El intercambiador de calor de tubos concéntricos es extremadamente útil, ya que se puede ensamblar en cualquier taller metalmecánico a partir de partes estándar, pero además de estos componentes, es posible hacer un diseño más sencillo sustituyendo elementos como prensaestopas por arandelas soldadas o reemplazando las T de conexión por tubos soldados que conecten los tubos exteriores formando así la horquilla (Guillén, 2014).

- Intercambiadores de calor a placas

La industria alimenticia presenta varios casos donde se requiere operar con saltos térmicos reducidos, a bajas temperaturas y con tiempos mínimos de contacto, por lo que se requiere equipos especiales de transferencia de calor. Estos equipos especiales capaces de cumplir con los requisitos antes mencionados son los llamados Intercambiadores de calor de placas. Estos son equipos muy difundidos en la Industria de procesos y cubren una amplia gama de aplicaciones, por lo que utilizados con frecuencia como pasteurizadores. Presentan características muy especiales tanto en su diseño como en la operación que los hace motivo de un estudio particular. Son ideales para aplicaciones en las que los fluidos tienen una viscosidad relativamente baja y no contienen partículas. Además, son una elección ideal donde existe un pequeño salto térmico entre la temperatura de salida del producto y la temperatura de entrada del servicio. Estos intercambiadores consisten en delgadas planchas corrugadas, empaquetadas o bien soldadas con cobre. Las placas son apretadas unas contra otras de modo que formen el paquete de placas dentro de un bastidor, en el que el flujo de producto se encuentra en canales alternos y el servicio entre los canales del producto (Gemina, 2015).

### **Conclusiones parciales del capítulo 1**

1. En este capítulo se realiza una búsqueda bibliográfica relacionada con la piña como fruta tropical, se brinda información sobre sus características y las diferentes etapas del proceso de elaboración de la piña en conserva. Además, se verifica desde una perspectiva conceptual y bibliográfica términos como flujo de fluidos, bombas hidráulicas, recuperación del condensado, tipos de intercambiadores de calor, con el objetivo de describir las principales herramientas que apoyan el desarrollo de la investigación.
2. Se concluye además que por su fácil manipulación y mantenimiento, en la industria se hace extensivo el uso de las bombas centrífugas construidas bajo normativa DIN 24255.
3. Otra de las conclusiones a las que se arriba en este capítulo es la importancia de la recuperación de los condensados calientes, uno de sus usos es como vapor flash, que brinda un ahorro de energía considerable y mejora el ambiente de

trabajo de la planta, al reducir las nubes de vapor. Además se aprovechan valiosas unidades térmicas que de otra forma se perderían.

## **Capítulo 2: Materiales y métodos**

En el presente capítulo se realiza una breve caracterización de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón. Se describe proceso tecnológico que se lleva a cabo para la obtención de las rodajas de piña en conserva. Se plantean las metodologías a seguir para el balance en el tanque de líquido de cobertura; así como los cálculos de bomba para el trasiego del jarabe y para la evaluación del intercambiador de calor. Además se realiza una valoración integral de la propuesta a partir de la estimación de los costos de inversión y se plantean los cálculos para determinar el ahorro de agua y combustible que esta trae consigo.

### **2.1. Caracterización de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”**

La empresa se encuentra ubicada en el centro Sur de la Provincia de Matanzas aproximadamente a 900m de la Autopista Nacional y la posición geográfica es exactamente 22°31'40"de LN y 81°7'40"de LW a 10 m de altura sobre el nivel del mar.

El entorno de esta empresa está compuesto de la siguiente manera: al noroeste se encuentra el Batey “El Vivero” de aproximadamente 60 viviendas y también en esa dirección a 1 Km los envasaderos de Fruta Fresca Jagüey 1 y Jagüey 2, que constituyen una fuente de contaminación. Al norte se encuentra el Hospital Municipal Iluminado Rodríguez y la ciudad de Jagüey Grande que posee tres lagunas de oxidación, todas rehabilitadas. Al sur cruzando la Autopista se encuentra un punto de ventas Rumbos y un Servicentro Oro Negro. En el suroeste de la empresa existen viviendas dispersas.

#### **❖ Desempeño básico de la entidad**

La misión de la UEB “Héroes de Girón”, es producir jugos simples y concentrados congelados de frutas cítricas así como sus derivados, de manera que éstos satisfagan las necesidades siempre crecientes del cliente, con el sabor, color y aroma exclusivos de Jagüey Grande.

La visión es que la empresa se consolida como una organización altamente eficiente y competitiva, capaz de procesar con eficiencia los volúmenes de fruta a recibir, los productos son referencia en el mercado nacional y en el exterior por su calidad, color y

sabor, así como por el beneficio que reporta a los clientes. Sus niveles de ventas crecen y con ello las utilidades, todo basado en una empresa moderna, diversificada y solvente.

Las buenas prácticas de producción están bien establecidas y se llevan a cabo por parte del personal. Todos los procesos y actividades de la empresa se encuentran descritos en los procedimientos normalizados de organización, siendo este sistema comprobado en auditorias trimestrales.

La UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” procesa más del 60 % de todos los cítricos cubanos dedicados a la producción de jugos y otros subproductos, cosechados por la Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón”. Su misión fundamental es producir alimentos de la más alta calidad en completa armonía con el medio ambiente, con honestidad y respeto a los clientes. Su principal producción son los jugos simples, concentrados congelados y asépticos de naranja, toronja y piña. Además, se producen aceites esenciales y destilados derivados de la naranja y la toronja, pulpas, pastas, néctares y conservas de frutas tropicales (mango, guayaba, y tomate).

#### ❖ **Principales Servicios que brinda la entidad:**

Dentro del perímetro de la Empresa está ubicada la Industria “Alimentos La Estancia” SA y recibe por tanto servicios de:

- Refrigeración
- Abasto de agua.
- Energía
- Mantenimiento y limpieza
- Vapor.
- Laboratorio.

#### ❖ **Principales Producciones:**

- Jugos concentrados de toronja y naranja.
- Jugos naturales de toronja y naranja.
- Jugos asépticos de toronja y naranja.
- Aceites esenciales de toronja y naranja.
- Celdillas cítricas de toronja y naranja.
- Jugos concentrados de Piña

- Pulpa concentrada de frutas tropicales.
- Pasta de tomate.
- Puré de tomate.
- Conservas y mermeladas de frutas tropicales.
- Hollejo húmedo.

❖ **Empresas de la Competencia:**

**Nacionales:**

- Cítricos Ceballos
- Cítricos Contraamaestre
- La Conchita
- Planta Libertad

• **Internacionales:**

- La Florida
- Brasil

❖ **Principales Clientes:**

- Unión Europea.
- Industria “Alimentos La Estancia” SA.
- Polo Turístico de Varadero y La Habana.

❖ **Principales Proveedores:**

La Empresa Agroindustrial “Victoria de Girón” es el principal proveedor de materia prima (frutas cítricas) junto con Troncoso y Ceiba, pero cuenta además con una amplia gama de proveedores nacionales e internacionales para adquirir equipamiento, piezas, insumo, materiales, medios de protección, etc.

**2.2. Descripción tecnológica del proceso productivo**

Las frutas son transportadas en pallets desde el frente de cosecha por medio de camiones hasta la industria. Luego se procede a su pesaje en el basculador, llegando al área de recepción donde se descargan; en este sitio se traslada una muestra de tres unidades al azar, independientemente del volumen y la especie, para analizar algunos parámetros de calidad de las frutas como es el caso de los grados Brix, el índice de madurez y la acidez. Desde el área de descarga las frutas son transportadas con

montacargas hasta el virador de pallets para pasar a la lavadora. En este equipo son lavadas con agua tratada con hipoclorito de sodio; el contenido de cloro en el agua tiene que ser de 0,5 – 1,0 p.p.m para eliminar posibles bacterias o microorganismos. Luego van a la mesa de selección con el fin de separar las frutas en mal estado y partes indeseables como las coronas. Posteriormente pasan por el elevador de cangilones para ser llevadas hasta la peladora separando la cáscara del fruto y una vez más son sometidas a una selección para separar los frutos defectuosos. En dependencia del producto a realizar, son enviadas a la rebanadora o troceadora.

El líquido de cobertura se prepara en marmitas a partir de una solución de agua y azúcar. Después las frutas procesadas son enviadas a la llenadora donde se adiciona de forma manual a las latas en una relación de producto sólido entre 60 - 70% y de líquido de cobertura a una temperatura de 85 °C, entre 30 - 40 %. Las latas tienen que llenarse hasta cerca del borde. El control dirá hasta que altura se llenará, después se tapan y se colocan dentro de un cesto o canasto para llevarlo a un baño maría que se calienta hasta 95°C durante 20 minutos con el objetivo de lograr la inocuidad en el producto final. Una vez que las latas concluyen el tiempo de esterilización son retiradas del baño maría para su posterior enfriamiento (Departamento de Tecnología, 2015).

En el (anexo 1), se muestra el diagrama de flujo del proceso tecnológico de producción de rodajas de piña en conserva, donde se reflejan las diferentes etapas y equipos presentes en el proceso productivo.

A partir de la descripción tecnológica del proceso se traza la metodología a seguir para evaluar la variante propuesta (anexo 2), utilizando cálculos para determinar el flujo del jarabe en el tanque, cálculos de bomba y para la evaluación de intercambiador de calor.

### **2.3. Metodología para el balance en el tanque del líquido de cobertura**

Los balances de materia son la base fundamental para el diseño de los procesos, debido a que así se determinan tanto las cantidades de materia prima requerida como los productos procesados u obtenidos, en cada una de las etapas u operaciones individuales de los procesos. De esta forma se determinarán los caudales y las composiciones de las corrientes de los diferentes procesos proporcionando las ecuaciones básicas para el

dimensionamiento de los equipos necesarios para la fabricación de productos (Towler y Sinnott, 2012).

A continuación se muestra la metodología a seguir para realizar el balance en el tanque del líquido de cobertura teniendo en cuenta la cantidad de sólidos disueltos expresados en ° Brix:

Balance total:

$$w_{H_2O} + w_{azúcar} = w_{sirope} \quad (2.1)$$

Balance por componentes:

$$w_{H_2O} * X_{H_2O} + w_{azúcar} * X_{azúcar} = w_{jarabe} * X_{jarabe} \quad (2.2)$$

El contenido de sólidos disueltos del agua tratada que se utiliza para la preparación del jarabe es nulo, por tanto la expresión de balance queda de la siguiente forma:

$$w_{azúcar} * X_{azúcar} = w_{sirope} * X_{sirope} \quad (2.3)$$

Despejando la ecuación se obtiene:

$$w_{sirope} = \frac{w_{azúcar} * X_{azúcar}}{X_{sirope}} \quad (2.3a)$$

Donde:

$w_{H_2O}$ : Flujo másico de agua, (kg/h).

$w_{azúcar}$ : Flujo másico de azúcar, (kg/h).

$w_{sirope}$ : Flujo másico de sirope, (kg/h).

$X_{H_2O}$ : Cantidad de sólidos disueltos en el agua, (°Brix).

$X_{azúcar}$ : Cantidad de sólidos disueltos en el azúcar, (°Brix).

$X_{jarabe}$ : Cantidad de sólidos disueltos en el jarabe, (°Brix).

Nota: En el Departamento de Tecnología de la empresa donde se realiza la investigación el líquido de cobertura se estandariza a 45 °Brix.

## 2.4. Metodología para la evaluación de la bomba a emplear para el trasiego de líquido de cobertura

Se valora la posibilidad de comprar una bomba centrífuga Monobloc EN 733 construida bajo la normativa DIN 24255, la cual se emplea para vehicular líquidos limpios (anexo 3).

Se determinan parámetros de diseño de la misma como capacidad de flujo, presión de trabajo, carga neta de succión positiva (NPSH) y características físicas. Para esto se revisan catálogos y se realizan entrevistas con especialista de la planta.

### 2.4.1. Cálculo hidrodinámico de la bomba

Para comprobar si la bomba seleccionada es adecuada para el trasiego del líquido de cobertura al proceso, se tienen en cuenta los distintos criterios de selección de bomba, los cuales son:

- La capacidad de flujo de la bomba debe ser mayor o igual que el flujo del sistema.
- La carga de la bomba debe ser mayor o igual que la del sistema.
- La carga neta de succión positiva (NPSH) de la bomba debe ser menor o igual que la del sistema.

Para el cálculo de la carga de la bomba se utiliza la ecuación de balance de cargas (Rosabal, 2006).

$$\frac{P_1}{\rho_1 * g} + Z_1 + \frac{\alpha_1 * (v_1)^2}{2 * g} + \mathbf{Hb} = \frac{P_2}{\rho_2 * g} + Z_2 + \frac{\alpha_2 * (v_2)^2}{2 * g} + \sum Hf \quad (2.4)$$

Donde:

$P_1$ : Presión en el punto 1, (Pa).

$\rho_1$ : Densidad del fluido en el punto 1, ( $kg/m^3$ ).

g: Gravedad específica, ( $m/s^2$ ).

$Z_1$ : Altura, (eje de referencia 1), (m).

$\alpha_1$ : Factor de corrección de energía cinética en el punto 1.

$v_1$ : Velocidad en el punto 1, (m/s).

Hb: Carga de la bomba, (m).

P<sub>2</sub>: Presión en el punto 2, (Pa).

ρ<sub>2</sub>: Densidad del fluido en el punto 2, (kg/m<sup>3</sup>).

Z<sub>2</sub>: Altura, (eje de referencia 2), (m).

α<sub>2</sub>: Factor de corrección de energía cinética en el punto.

v<sub>2</sub>: Velocidad en el punto 2, (m/s).

∑ Hf: Pérdidas totales por fricción en tuberías y accesorios, (m).

#### 2.4.2. Cálculo de la carga de la bomba

Se analiza la ecuación del balance mecánico por términos y se despeja la carga de la bomba obteniéndose:

$$Hb = Z_2 + \left[ \frac{\alpha}{2 \cdot g} * (v_2^2 - v_1^2) \right] + \left[ \frac{1}{\rho \cdot g} * (P_2 - P_1) \right] + \sum Hf - Z_1 \quad (2.4a)$$

#### 2.4.3. Cálculo de las pérdidas en tuberías y accesorios ∑ Hf

Las pérdidas por fricción en tuberías se determinan por la siguiente ecuación:

$$Hf_{tub} = \frac{f * v^2 * L}{d * 2 * g} \quad (2.5)$$

Donde:

Hf<sub>tub</sub>: Pérdidas por fricción en tuberías, (m).

f: Factor de fricción.

v: Velocidad del fluido por la tubería, (m/s).

L: Longitud de la tubería, (m).

d: Diámetro de la tubería, (m).

g: Gravedad específica, (m/s<sup>2</sup>).

Para hallar el factor de fricción se necesita el tipo de régimen, el diámetro de la tubería y los valores de rugosidad en tubos.

Se calcula el Número de Reynolds, según:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \quad (2.6)$$

Donde:

$Re$ : Número adimensional de Reynolds.

$\mu$ : Viscosidad del fluido en tuberías, ( $Pa \cdot s$ ).

Para:

$Re < 2100$  Se considera régimen laminar

$2100 < Re < 4000$  Se considera régimen de transición

$Re > 4000$  Se considera régimen turbulento

La velocidad del fluido ( $v$ ) se determina conociendo el flujo volumétrico y el área por la ecuación siguiente:

$$q = V \cdot A \quad (2.7)$$

Despejando se obtiene que:

$$V = \frac{q}{A} \quad (2.7a)$$

Donde:

$q$ : Flujo volumétrico, ( $m^3/s$ ).

$A$ : Área, ( $m^2$ ).

Para determinar el valor del área se emplea la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2.8)$$

Donde:

Una vez determinado el régimen del fluido y teniendo como dato el diámetro y fijando la rugosidad de la tubería según la bibliografía consultada (Rosabal, 2006) se selecciona el factor de fricción y se calculan las pérdidas en tuberías.

Para determinar las pérdidas por fricción en accesorios se hace uso de la siguiente ecuación:

$$Hf_{acc} = \sum k \cdot \left( \frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (2.9)$$

Donde:

$Hf_{acc}$ : Pérdidas por fricción en accesorios, (m).

$k$ : Valor de coeficientes de resistencias locales.

El valor de los coeficientes de resistencias locales ( $k$ ) se encuentra en la literatura consultada (Rosabal, 2006).

Se calculan las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios antes y después de la bomba siguiendo la metodología anterior y utilizando los datos que le correspondan.

Luego se calculan las pérdidas por fricción totales por la siguiente ecuación:

$$\sum Hf_{totales} = (Hf_{tub} + Hf_{acc})_{succión} + (Hf_{tub} + Hf_{acc})_{descarga} \quad (2.10)$$

Donde:

$\sum Hf_{totales}$ : Pérdidas por fricción totales en las tuberías y accesorios de la instalación, (m).

#### 2.4.4. Cálculo del NPSH del sistema

Para comprobar el último de los criterios de selección de la bomba se calcula el  $NPSH_{sistema}$  y se compara con el dato de la chapa de la bomba. Este criterio permite predecir la ocurrencia del fenómeno de cavitación, que causa el deterioro de los componentes de la bomba y provoca la disminución de su rendimiento.

$$NPSH_{sistema} = \frac{P_3 - P_v}{\rho \cdot g} \quad (2.11)$$

Donde:

$NPSH_{sistema}$ : Carga neta de succión positiva del sistema, (m).

$P_3$ : Presión de entrada a la bomba, (Pa).

$P_v$ : Presión de vapor, (Pa).

Para calcular  $P_3$  se hace un balance mecánico antes de la bomba, manteniendo el flujo volumétrico, diámetro de la tubería y accesorios.

Despejando de ecuación de balance mecánico (2.4a) se obtiene la siguiente expresión:

$$P_3 = \rho \cdot g \cdot \left[ \frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 + \frac{\alpha \cdot (v_1)^2}{2 \cdot g} + H_b - \left( \frac{\alpha \cdot (v_3)^2}{2 \cdot g} \right) - Z_3 - \sum H_f \right] \quad (2.12)$$

Donde:

$v_3$ : Velocidad en la tubería, (m/s).

$Z_3$ : Altura, (eje de referencia 3), (m).

$\sum H_f$ : Pérdidas por fricción antes de la bomba, (m).

Se calculan las pérdidas por fricción antes de la bomba, siguiendo la metodología planteada anteriormente.

## 2.5. Metodología para la evaluación del intercambiador de calor

Para predecir el rendimiento de un intercambiador de calor, es esencial relacionar la transferencia total de calor con las temperaturas de entrada y salida del fluido, el coeficiente global de transferencia de calor y el área superficial total para la transferencia (Incropera y DeWitt, 2011).

Los métodos más usados en la evaluación de intercambiadores de calor son:

- Método del Factor de Corrección de la Diferencia Media Logarítmica de Temperaturas ( $F_T$ -LMTD)
- Método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia ( $\epsilon$  – NTU)
- Método  $\psi$ -P

### 1- Método del Factor de Corrección de la Diferencia Media Logarítmica de Temperaturas ( $F_T$ -LMTD):

Para determinar el flujo de calor transferido es necesario conocer la diferencia de temperaturas entre los dos fluidos. Como el proceso consiste en transferir calor de un fluido caliente a uno frío, es evidente que la diferencia de temperaturas a la entrada en el intercambiador de calor será máxima y que esta se reducirá según los fluidos circulan por el intercambiador, por lo que a la salida se encontrará la menor diferencia de temperatura. Por lo tanto, dicha diferencia es variable. Además, depende de la disposición de los tubos, del número de pasos y de la geometría del equipo (Towler y Sinnott, 2008; Incropera y DeWitt, 2011).

Por otra parte, McCabe *et al.* (1998) e Incropera y DeWitt (2011) coinciden al afirmar que la diferencia de temperatura es mayor cuando las corrientes de proceso están en contracorriente, y se aumenta la velocidad de transferencia de calor.

Este método puede ser aplicado si se consideran constantes a lo largo de toda la superficie el coeficiente de transferencia de calor y el calor específico para cada uno de los agentes portadores de calor. En el caso de que estos valores cambien considerablemente a lo largo de la superficie de intercambio de calor, resulta inexacta la aplicación del diferencial logarítmico de temperatura, y para ello la ecuación principal de transferencia de calor se resuelve al emplear el método de integración gráfica (Towler y Sinnott, 2008).

## **2- Método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia ( $\epsilon$ – NTU):**

Este método fue desarrollado por primera vez en detalle por Kays M. y London A. en 1955, y se basa en determinar la cantidad de calor transferido respecto a la máxima cantidad de calor posible a transferir durante el proceso dado (Imbert y Guillen, 2011).

Se basa además en el concepto de la efectividad del intercambiador de calor, el cual es un parámetro adimensional, definido como la razón de la transferencia de calor real entre la máxima transferencia de calor que puede ser posible si se tratara de un intercambiador de contraflujo.

Es un procedimiento ideal para evaluar el funcionamiento de un intercambiador de calor ya existente, puesto que se emplea cuando el área de transferencia de calor y los detalles de la construcción son conocidos. Consiste en determinar el intercambio de calor por cada grado de diferencia de temperatura (Izquierdo, 2001; Tower y Sinnott, 2008).

### 3- Método $\psi - P$ :

Según Towler y Sinnott, 2008 el método  $\psi - P$  combina las variables de los métodos  $F_T$ -LMTD y  $\epsilon$ -NTU. El término  $\psi$  se introduce como la relación de la diferencia verdadera de temperaturas y la diferencia de temperaturas en el cabezal frío (la diferencia entre las temperaturas a la entrada de los dos fluidos,  $T_1 - t_1$ ).

Para la evaluación del intercambiador de calor se utiliza el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión ( $\epsilon - NTU$ ), aunque existen varias metodologías, esta es la más sencilla de aplicar y es una de las más utilizadas (Incropera y DeWitt (2011).

Para este tipo de intercambiador de tubo y coraza el número de unidades de transmisión (NTU) se calcula a través de la expresión (tabla 11.4; Incropera y DeWitt, (2011); anexo 4):

$$NTU = -(1 + Cr^2)^{-\frac{1}{2}} \ln \left( \frac{E-1}{E+1} \right) \quad (2.13)$$

Donde:

$C_r$ : Relación de capacidad calórica.

$$E = \frac{\frac{2}{\xi} - (1 + Cr)}{(1 + Cr^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.14)$$

#### 2.5.1. Cálculo de la eficiencia del intercambiador ( $\xi$ , %)

$$\xi = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100 = \frac{m_{vapor\ flash}(h_{e\ vapor\ flash})}{C_{\min}(T_{e\ vapor\ flash} - T_{e\ jarabe})} \times 100 \quad (2.15)$$

$$Q_{\max} = C_{\min}(T_{e\ vapor\ flash} - T_{e\ jarabe}) \quad (2.16)$$

Donde:

$Q_{\max}$ : Máxima cantidad de calor transferido, (kcal/h).

$Q$ : Calor intercambiado, (kcal/h).

$T_{e\ vapor\ flash}$ : Temperatura de entrada del vapor flash, ( $^{\circ}C$ ), (Keenan, 1978).

Considerando despreciables las pérdidas de calor en el intercambiador:  $Q_{ced} = Q_{abs}$

$$Q_{ced} = C_h(h_{evap}) \quad (2.17)$$

$$Q_{abs} = C_c(T_{e\ jarabe} - T_{s\ jarabe}) \quad (2.18)$$

$$C_c = m_{sirope} \cdot C_{p\ sirope} \quad (2.19)$$

$$C_h = m_{vapor\ flash} \cdot h_{evap} \quad (2.20)$$

$C_{mín}$ : Es el resultado del valor menor entre la  $C_c$  y  $C_h$ .

Donde:

$Q_{ced}$ : Calor cedido por el vapor flash, (kcal/h).

$Q_{abs}$ : Calor adsorbido por el jarabe, (kcal/h).

$C_c$ : Capacidad térmica de la corriente fría, (kcal/h°C).

$C_h$ : Capacidad térmica de la corriente caliente, (kcal/h°C).

$m_{vapor}$ : Flujo másico del vapor flash, (kg/h).

$m_{jarabe}$ : Flujo másico de jarabe, (kg/h).

$C_{p\ jarabe}$ : Capacidad calórica del jarabe a presión constante, (kcal/kg°C).

$h_{evap}$ : Entalpía de evaporación, (kcal/kg), (Keenan, 1978).

$T_{e\ jarabe}$ : Temperatura de entrada del jarabe al intercambiador, (°C).

$T_{s\ jarabe}$ : Temperatura de salida del jarabe al intercambiador, (°C).

### 2.5.2. Cálculo de la relación de capacidad calorífica (Cr)

$$C_r = \frac{C_{mín}}{C_{máx}} \quad (2.21)$$

$C_{máx}$ : Es el resultado del valor mayor entre la  $C_c$  y  $C_h$ .

### 2.5.3. Cálculo del área de la sección transversal del Intercambiador de calor (A, m2)

El área de la sección transversal del Intercambiador de calor se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$NTU = \frac{U_D \cdot A}{C_{min}} \quad (2.22)$$

La ecuación despejada queda de la siguiente forma:

$$A = \frac{NTU \cdot C_{min}}{U_D} \quad (2.22a)$$

Donde:

A: área de la sección transversal, ( $m^2$ ).

NTU: Número de unidades de transmisión.

$U_D$ : Coeficiente global de transferencia de calor, ( $kcal/hm^2\text{°C}$ ), (tabla 11.2; Incropera y DeWitt, (2011); anexo 5).

Al calcular el área de la sección transversal del intercambiador se evalúa si este satisface los requerimientos del sistema propuesto.

## **2.6. Metodología para realizar la valoración integral de la propuesta**

La valoración de la propuesta se realiza sobre la base de un análisis técnico, económico y medioambiental. Se determina el ahorro de agua que se logra, así como los gastos de operación e inversión y el tiempo en que se recupera.

Todos los cálculos se realizan sobre la base de una campaña regular con duración de 60 días.

### **2.6.1. Cálculo del ahorro de agua**

Toda el agua que se recupera es por dejar de generarla como vapor y representa el ahorro de agua que se extrae del manto y se compra por la empresa. Por tanto:

$$A_a = A_v$$

Donde:

$A_a$ : Flujo de agua ahorrada, ( $m^3$ ).

$A_v$ : Flujo de agua, ( $m^3$ ).

### **Costo de agua**

Teniendo la cantidad de agua que se ahorra y conociendo el precio actual se calcula en valores el ahorro de la opción propuesta.

$$Costo_{agua} = A_a \cdot pup_a \quad (2.23)$$

Donde:

$Costo_{agua}$ : Costo de agua ahorrada, (\$).

$pup$ : Precio unitario del producto (agua), ( $\$/m^3$ ).

Nota: En el valor de un metro cúbico de agua se tienen en cuenta toda la energía eléctrica, los insumos, y otros elementos de gastos, o sea la ficha de costo del agua elaborada en el departamento de economía de la empresa.

### 2.6.2. Cálculo del ahorro de combustible

Se calcula el ahorro estimado de combustible por el concepto de disminución del consumo de vapor en la preparación del sirope actual y la propuesta.

El combustible consumido para la generación de vapor en ambas variantes se determina por el despeje de la ecuación siguiente:

$$\eta_{caldera} = \frac{m_{vapor} \cdot (H_{final} - H_{inicial})}{m_{combustible} \cdot (VCS + Q_{físico})} \quad (2.24)$$

Donde:

$\eta_{caldera}$ : Eficiencia de la caldera, (%), (Valtec - Umisa, 2001).

$m_{combustible}$ : Masa de combustible, ( $kg/camp$ ).

$H_{final}$ : Entalpía de vapor saturado final, ( $kcal/kg$ ), (Keenan, 1978).

$H_{inicial}$ : Entalpía de vapor saturado inicial, ( $kcal/kg$ ), (Keenan, 1978).

$Q_{físico}$ : Calor físico, ( $kcal$ ).

VCS: Valor calórico superior, ( $kcal/kg$ ), (CUPET, 2021).

Con el despeje de la masa de combustible queda la ecuación siguiente:

$$m_{combustible} = \frac{m_{vapor} \cdot (H_{final} - H_{inicial})}{\eta_{caldera} \cdot (VCS + Q_{físico})} \quad (2.24a)$$

### 2.6.3. Estimación de los costos de inversión

Para estimar la inversión se tienen en cuenta los gastos en materiales auxiliares (oxicorte, electrodos, discos, etc.), tuberías y accesorios que se requieren, así como la bomba que se selecciona para el trasiego de sirope y el intercambiador de tubo y coraza (anexo 6).

No se tienen en cuenta posibles gastos como:

- Salario por montaje de la instalación que se propone (se realiza el montaje con los obreros de mantenimiento con salario fijo).

### 2.6.4 Cálculo de los costos de operación

Para el cálculo de los costos de operación se tiene en cuenta el consumo eléctrico de la bomba para el trasiego de sirope y no se tienen en cuenta:

- Gastos por concepto de salario a un nuevo operador (no es necesario contratar un operador)

El consumo de la bomba se determina mediante la ecuación siguiente:

$$Costo_{elect} = P * pup_{kw} \quad (2.25)$$

$Costo_{elect}$ : Costo del consumo eléctrico de la bomba, (\$).

$P$ : Potencia, ( $kW/camp$ ).

$pup_{kw}$ : Precio unitario del producto (energía eléctrica), ( $\$/kW$ ).

### 2.6.5. Cálculo del plazo de recuperación de la inversión

Se define como el período de tiempo que demora el inversionista en recuperar el capital invertido. Es considerado como el tiempo necesario para que el incremento de ganancia compense la inversión realizada. Entre varios proyectos de inversión, se selecciona aquel cuyo plazo de recuperación sea menor (León et al., 2010).

Para el cálculo del plazo de recuperación de la inversión (PRI) se utiliza la expresión:

$$PRI = \frac{Inversión}{Ganancia} \quad (2.26)$$

En este cálculo se tienen en cuenta el costo del agua ahorrada, y el aumento en el volumen de producción que genera la propuesta.

### **Conclusiones parciales del capítulo 2**

En este capítulo se describe el proceso productivo de obtención del producto rodajas de piña en conserva. Se plantean la compra de una bomba centrífuga Monobloc EN 733 construida bajo la normativa DIN 24255 y un intercambiador de calor de tubo y coraza, así como las respectivas metodologías para la correcta selección de la bomba y la evaluación del intercambiador de calor por el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión ( $\epsilon - NTU$ ). Se plantean además las ecuaciones a utilizar para determinar el ahorro de agua y combustible que representa la propuesta. Además se realiza una estimación de la inversión y se plantean los cálculos para determinar el costo de operación y el tiempo de recuperación de la misma luego de llevar a cabo estas modificaciones.

## Conclusiones

Una vez finalizada la investigación, la cual ha estado dirigida fundamentalmente a la propuesta de un sistema de calentamiento del líquido de cobertura para las rodajas de piña en conserva en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, a criterio de la autora se deben destacar las siguientes conclusiones:

1. La implementación de un nuevo sistema de calentamiento para la elaboración del líquido de cobertura de las rodajas de piña en conserva en la UEB garantiza la eficiencia del proceso con la mejora de los portadores energéticos y la calidad e inocuidad del producto final.
2. La importancia de la recuperación del condensado y su uso como vapor flash, brinda un ahorro considerable de energía y mejora el ambiente de trabajo, al reducir las nubes de vapor. Además, se aprovechan valiosas unidades térmicas que de otra forma se perderían.

## **Recomendaciones**

Como resultado de la investigación desarrollada el autor recomienda:

1. Implementar el sistema de calentamiento propuesto para el líquido de cobertura de las rodajas de piña en conserva en la UEB Combinado Industrial "Héroes de Girón" por las ventajas que representa para la empresa pues garantiza la eficiencia del proceso y la calidad e inocuidad del producto final.
2. Efectuar por parte de los compañeros del Departamento de Automatización de la UEB un estudio detallado que defina los elementos y equipos necesarios que garanticen el control automático necesario en la implementación de la propuesta.

## Bibliografía

1. A Company of the ARI Armaturen Group. (2021). Válvulas industriales, glosario y definiciones. <https://www.comeval.es/formacion/formacion-valvulas-industriales-glosario-definiciones/>
2. Aguilar Ramírez, N. E. (2014). *Desarrollo de programa de cómputo para la especificación de tuberías de proceso*. (tesis para obtener el grado de ingeniero químico), Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
3. Álvarez González, N. R. (2016). *Eficiencia energética en la red de distribución de vapor a través de la recuperación del condensado en una industria de alimentos*. (tesis en opción al título de ingeniero mecánico industrial), Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
4. Amaro, J.; Hernández, O.; Olivencia, J. (2015). Cálculo del campo de velocidad de un flujo laminar de agua al interior de una tubería, enfriándose con el medio ambiente después del completo desarrollo hidrodinámico. *Agroindustrial Science* 5(2): 127 – 132.
5. Anaya, A.; Cauich, G.; Funabazama, O.; Medrano, V. (2014). Evaluación de ecuaciones de factor de fricción explícito para tuberías. *Revista Educación Química* 25(2): 128-134.
6. Arka, A.; Sunnilbhai, D. D. (2016). Optimization of shell and tube heat exchanger. *International journal for scientific research & development Vol 3*, pp 27-35.
7. Ávila, N.; Becerra, C.; Mustafá, Y.; Sanz, J. (2007). Pérdidas de presión en el transporte hidráulico de café por tubería PVC de 88 mm. *Revista Scientia et Technica* 1(34): 177- 182.
8. BAC. (The Biology of Ananas comosus var. comosus). (2008). The Biology of Ananas comosus var. comosus (Pineapple). Department of Health and Ageing of the Gene Technology Regulator. Australia. 39 p.
9. Benítez Roque, A. (2020). *Propuesta metodológica para la evaluación de intercambiadores de calor de tubo y coraza aplicada a la enseñanza de la asignatura transferencia de Calor*. (trabajo de diploma en opción al título de ingeniero mecánico), Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

10. BombasIdeal. (2018). Bombas horizontales, norma DIN 24255, series RNI, GNI (pp. 4).
11. Borroto, Aníbal; Rubio, Angel. (2007). *Combustión y generación de vapor*. (Maestría en eficiencia energética), Universidad de Cienfuegos, Editorial Universo Sur.
12. Castañeda de Pretelt, P. (2003). Manual técnico: Seminario sobre producción y manejo post cosecha de la piña para la exportación. Proyecto VIFINEX. San Salvador. SV. 69 p.
13. Cerrato, I. (2013). Panorama mundial de la piña. *SAG, Honduras*, 10p.
14. Chhabra, R., Shankar, V. (2018). *Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications* (7th ed. Vol. 1B). Oxford, United Kingdom: Butterworth-Heinemann.
15. Clayton T. Crowe Donald F. Elger, John A. Roberson. (2002). *Mecánica de Fluidos*. México: CECSA.
16. Codex Alimentarius. (1981). Norma del Codex para la piña en conserva. Codex Stan 42 – 1981, 8p.
17. Coveca, C. (2002). Commission from Veracruz for agricultural commercialization. Government of Veracruz department, Veracruz, Mexico.
18. Crestani, M., Barbieri, R., Hawerth, F., y Oliveira, A. (2010). Das Américas para Mundo: origem, domesticação e dispersão do abacaxizeiro. *Ciencia Rural*, 40(6), 1473 – 1483.
19. Departamento de economía. (2021). Factura de CUPET. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
20. Departamento de tecnología. (2015). Descripción del proceso productivo de la empresa de cítricos Héroes de Girón. Empresa de Cítricos Héroes de Girón. Documento de trabajo.
21. FAO. (2020a). Las principales frutas tropicales Análisis del mercado 2018. Roma.
22. FAO. (2020b). Análisis del Mercado de las principales frutas tropicales Panorama general de febrero de 2020. 6p.
23. Fernández, T.; Toledo, M.; Vásquez, J. (2006). *Caída de presión debida a un flujo en torbellino*. Revista Científica 10(4): 159- 165.

24. Gemina (2015). Catálogo General. Procesos Alimentarios S.L. Servicios, Maquinarias e Industrias. Murcia, España.
25. González, J. C; Peña, J. A; Susial, P. (2000). Tratamientos externos e internos del agua para calderas: Influencia en el coste del vapor producido. : <http://hdl.handle.net/10553/46460>
26. Guerrero Salcedo, F. (2018). *Diseño de un sistema de recuperación de condensado de baja presión en la unidad U - 110 Hidrocracking en Ecopetrol S.A* (trabajo de grado para optar al grado de ingeniero químico), Universidad de San Buenaventura Seccional Cartagena de Indias.
27. Guevara, A., y Cancino, K. (2015). *Elaboración de fruta en almíbar*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
28. Guillén Cruz, E. F. (2014). *Diseño y fabricación de un intercambiador de calor de tubos concéntricos para los Laboratorios de Termofluidos de la Universidad Santo Tomás*. (proyecto de trabajo de grado para optar al título de ingeniero mecánico), Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.
29. Gutiérrez Toledo, D. R., de la Rosa Andino, A. A., Benítez Leyva, L. V., & Aguilera Corrales, Y. (2018). Determination of thermic parameters of a heat exchanger of concentric tubes with organic - steam fluids. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 27 no. 1.
30. Gutiérrez, M. A., & Gracián, F. G. (2017). *Mejoramiento banco de pruebas para bomba centrífuga.*, Universidad Técnica Federico Santa María, Bélgica.
31. Hidrocúcuta S.A.S., (2019). Tipos de válvulas: Clasificación y sus funciones. <https://hidrocucuta.com/tipos-de-valvulas-clasificacion-y-sus-funciones>
32. Imbert, J.; Guillen, R. (2011). *Evaluación de un recuperador de calor en una industria frigorífica*. Universidad de Oriente. Centro de Estudios de Refrigeración. Cuba.
33. Incropera, F. P. y DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Editorial Prentice Hall, 7th Ed. USA.
34. Izquierdo Millán, Marcelo (2001). *Ingeniería térmica y de fluidos. Intercambiadores de calor*. Editorial Leganés.

35. Jaramillo, O. A. (2007). *Intercambiadores de calor*. Centro de Investigación en Energía. Universidad Nacional Autónoma de México.
36. Jones, J. A. (2003). *Heat Transfer Handbook*, Department of Mechanical Engineering, Duke University Durham. North Carolina.
37. Kakaç, S., Liu, H., y Pramuanjaroenkij, A. (2012). Heat exchangers: Selection, rating and thermal design. *Third Edition, vol. 6*.
38. Keenan, Joseph H. (1978). *Steam tables, Thermodynamic properties of water, including vapor, liquid, and solid phases*. Editorial SI Units.
39. León Naranjo, A., Pertuz Bayona, J. A., y Lizarazo Rey, J. (2019). *Cálculo de las pérdidas de carga de un sistema de redes hidráulicas en una planta de tratamiento de agua industrial en Barrancabermeja, Santander*. Unidades Tecnológicas de Santander.
40. López Mora, J. D. (2020). *Estudio de viabilidad y factibilidad ambiental, económica y técnica de la estrategia de descarbonización de Cargill, enfocada en la reducción del gasto en Búnker en el área de calderas, Complejo San Rafael, Costa Rica*. (proyecto de graduación), Escuela de Ingeniería Electromecánica, Cartago.
41. McCabe, W. L.; Smith, J. C. y Harriott, P. (1998). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Editorial McGraw Hill. Madrid, España.
42. Moyano, J. R., & Naranjo, E. M. (2015). *Automatización de la adquisición de datos en un banco de pruebas de bombas centrífugas instaladas en serie y paralelo.*, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
43. Naciones Unidas para el Comercio y Desarrollo - UNCTAD. (2020). Piña. [https://unctad.org/es/PublicationsLibrary/INFOCOMM\\_cp09](https://unctad.org/es/PublicationsLibrary/INFOCOMM_cp09)
44. Navarrete, F. G. (2010). *Diseño de una Guía Técnica y Multimedia de Prácticas y Anexos Visuales para la Asignatura "Procesamiento de Frutas y Hortalizas" en la Universidad Tecnológica Equinoccial, Distrito Metropolitano de Quito.*, Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador.
45. Navarrete, O. (2011). *Conservas de frutas*.

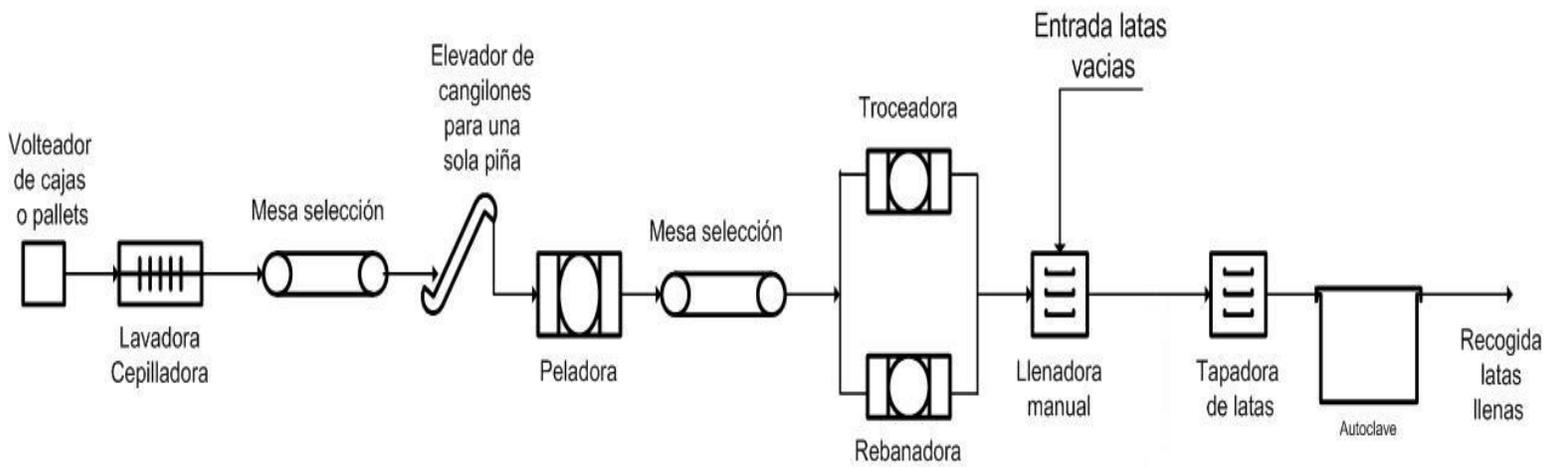
46. Palacios, G. (2018). Pérdidas en tuberías y conectores. <https://pdfcoffee.com/articulo-cientifico-perdidas-por-friccion-en-tuberia-3-pdf-free.html>
47. Pereira Rincón, Yeinder M. (2020). *Representación de instalaciones de tuberías*. Universidad de Los Andes.
48. Pérez Sánchez, A. (2020). Diseño térmico de un intercambiador de calor de tubo y coraza para el enfriamiento de metanol. *Nexo*, Vol. 33, pp 753-756.
49. Pérez, D. (2002). Evolución histórica de las fórmulas para expresar las pérdidas de carga en tuberías. Segunda parte: Desde los trabajos de Darcy hasta los de Stanton. *Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental* 23(3): 3-8.
50. Rabelo, M. (2011). *Recuperación de condensados de vapor en el proceso productivo de la empresa citrícola Héroes de Girón de Jagüey Grande*. (trabajo de diploma en opción al título de ingeniero químico), Universidad de Matanzas ``Camilo Cienfuegos``, Matanzas.
51. Rosabal, J.M. (2006). *Hidrodinámica y separaciones mecánicas*. Ciudad de la Habana. Editorial Félix Varela. 2da edición.
52. Rossi Caballeros, S. F. (2015). *Viabilidad económica para la implementación de un sistema de recuperación de condensados.*, Universidad de Guatemala, Guatemala.
53. Scribd. (2011). Conserva de piña. <https://es.scribd.com/doc/58247292/CONSERVA-DE-PIÑA>.
54. Sosa Daza, José A. (2013). *Recuperación de condensados generados en el sistema de drenajes de cabezales de vapor y venas de calentamiento en el área de Setil de la Refinería Estatal de Esmeraldas*. Universidad de Guayaquil.
55. Streeter, V.; Benjamin, E.; Bedford, K. (1999). *Mecánica de fluidos*. Editorial Mc Graw – Hill. Santa fe de Bogotá, Colombia.
56. Thulukkanam, K. (2013). *Heat Exchanger Design Handbook*.
57. TLV. (2021). Flash steam. <https://www.tlv.com/global/TI/steam-theory/flash-steam.html>

58. TLV. (2020). Introduction to condensate recovery. <https://www.tlv.com/global/US/steam-theory/introduction-to-condensate-recovery.html>
59. Torres, E.; Soto, J.A.; Martínez, M.T. (2004). Manual de intercambiadores de calor. México.
60. Towler, G. y Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Desing. Principles Practice and Economics of Plant and Process Desing*. Editorial Butterworth-Heinemann. USA.
61. Valtec- Umisa. (2001). *Manual de instrucciones, uso y mantenimiento del generador de vapor*. Modelo UMISA SMS'40(15) y resto de equipos instalados. NT1633. Julio.
62. Vega González, L. R. (2008). *Métodos de Análisis Comparativo Dimensional y de diseño para bombas centrifugas vertical tipo pozo profundo*. Ingeniería Revista Académica, Universidad Autónoma de Yucatán México.
63. Vega, L.; Rodríguez, G. (2007). Perdidas de presión en tuberías de vapor. Revista: Ciencias Holguín 13(3): 1-10.
64. VelSid. (2009). Líquido de gobierno. <https://gastronomiaycia.republica.com/2009/09/30liquido-de-gobierno/amp/>
65. Yambombo, J. G. (2012). *Diseño y construcción de un banco de pruebas para ensayos de pérdidas de carga en tuberías y accesorios*. (trabajo de graduación previo a la obtención del título de ingeniero civil), Universidad Central el Ecuador, Quito, Ecuador.

## Anexos

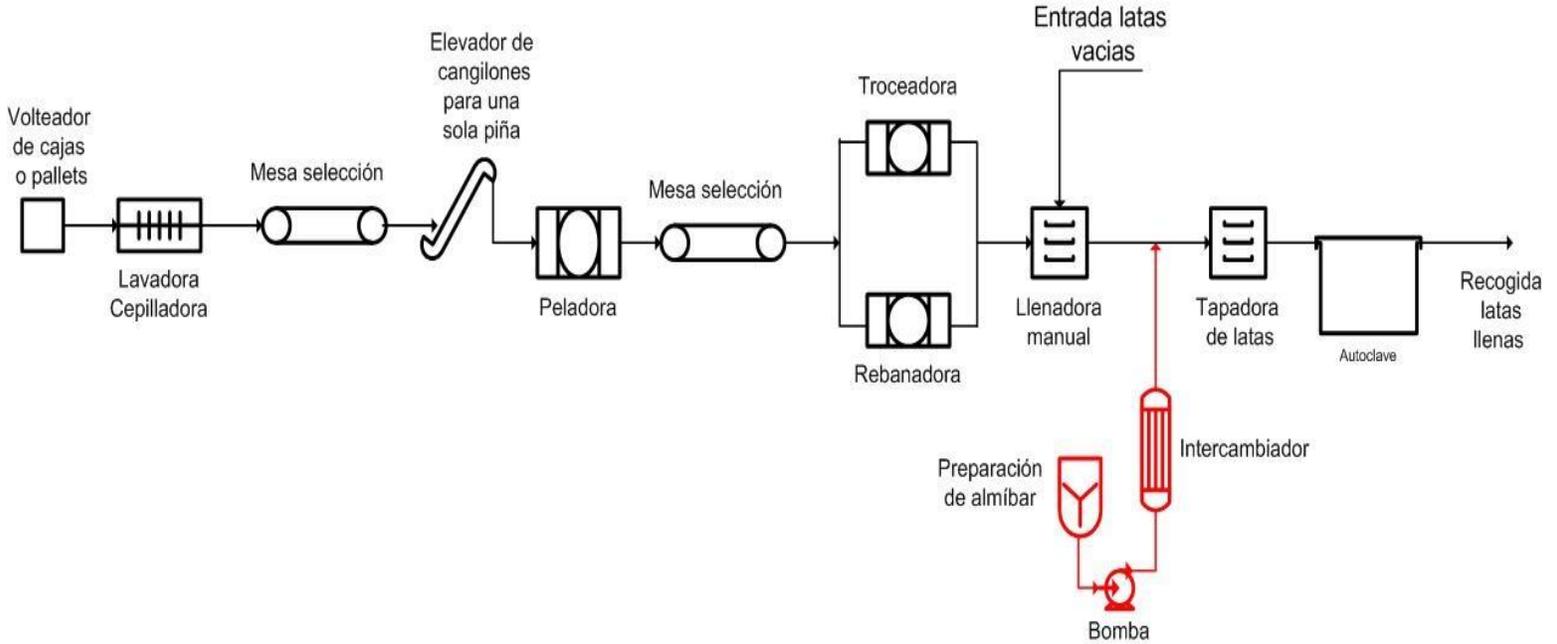
### Anexo 1: Diagrama de flujo del proceso de producción de rodajas de piña en conserva.

Diagrama de piña troceada o en rodajas



**Anexo 2:** Diagrama de flujo de la propuesta para calentar el líquido de cobertura en el proceso de elaboración de rodajas de piña en conserva.

Diagrama de piña troceada o en rodajas



## Anexo 3: Características técnicas de la bomba centrífuga Monobloc EN 733 (DIN 24255).

### MACn

Bomba Centrífuga Monobloc EN 733 (DIN 24255)



#### Descripción

- ✓ **Bombas Centrífugas monobloc. Normalizadas según norma EN 733 (DIN 24255).**

#### Datos técnicos

<b>Máx. profundidad de aspiración</b>	<b>Grado de protección</b>
6 mts	IP-54 Clase F Bajo demanda IE5
<b>Temperatura máx. del líquido</b>	<b>Tensión</b>
150 °C	Monofásica 230 V $\pm 10\%$ Trifásica 230/400 V $\pm 10\%$ - 400/690 V
<b>Motor</b>	<b>Condensador</b>
Según normas IEC. Protección termoamperimétrica de rearme automático (monofásica)	Condensador en la caja de bornes

#### Materiales

<b>Cuerpo bomba</b>	<b>Cierre mecánico</b>
En fundición gris GG-20	Diversas versiones
<b>Impulsor</b>	<b>Rodamientos</b>
Turbina en bronce / Hierro fundido GG-20	Estándar
<b>Eje motor</b>	<b>Cuerpo aspiración e impulsión</b>
Acero Inoxidable	Hierro fundido GG-20

#### Accesorios

##### Acumulador



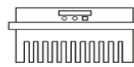
##### Presostatos

- Presostato mecánico
- Presostato electrónico



##### Sistemas de control

- Reguladores de presión y velocidad



**Anexo 4:** Relaciones de NTU.

**TABLE 11.4** Heat Exchanger NTU Relations

Flow Arrangement	Relation	
<b>Concentric tube</b>		
Parallel flow	$NTU = -\frac{\ln[1 - \varepsilon(1 + C_r)]}{1 + C_r}$	(11.28b)
Counterflow	$NTU = \frac{1}{C_r - 1} \ln\left(\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon C_r - 1}\right) \quad (C_r < 1)$	
	$NTU = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (C_r = 1)$	(11.29b)
<b>Shell-and-tube</b>		
One shell pass (2, 4, . . . tube passes)	$(NTU)_1 = -(1 + C_r^2)^{-1/2} \ln\left(\frac{E - 1}{E + 1}\right)$	(11.30b)
	$E = \frac{2/\varepsilon_1 - (1 + C_r)}{(1 + C_r^2)^{1/2}}$	(11.30c)
$n$ Shell passes ( $2n, 4n, . . .$ tube passes)	Use Equations 11.30b and 11.30c with	
	$\varepsilon_1 = \frac{F - 1}{F - C_r} \quad F = \left(\frac{\varepsilon C_r - 1}{\varepsilon - 1}\right)^{1/n} \quad NTU = n(NTU)_1$	(11.31b, c, d)
<b>Cross-flow (single pass)</b>		
$C_{\max}$ (mixed), $C_{\min}$ (unmixed)	$NTU = -\ln\left[1 + \left(\frac{1}{C_r}\right) \ln(1 - \varepsilon C_r)\right]$	(11.33b)
$C_{\min}$ (mixed), $C_{\max}$ (unmixed)	$NTU = -\left(\frac{1}{C_r}\right) \ln[C_r \ln(1 - \varepsilon) + 1]$	(11.34b)
<b>All exchangers (<math>C_r = 0</math>)</b>	$NTU = -\ln(1 - \varepsilon)$	(11.35b)

**Anexo 5:** Valores representativos del coeficiente global de transferencia de calor.

**TABLA 11.2** Valores representativos del coeficiente global de transferencia de calor

Combinación de fluidos	$U$ (W/m <sup>2</sup> · K)
Agua con agua	850-1700
Agua con aceite	110-350
Condensador de vapor (agua en tubos)	1000-6000
Condensador de amoníaco (agua en tubos)	800-1400
Condensador de alcohol (agua en tubos)	250-700
Intercambiador de calor de tubos con aletas (agua en tubos, aire en flujo cruzado)	25-50

**Anexo 6:** Estimación de los costos de inversión de la propuesta.

<b>Inversión total</b>				
Elementos	Unidad de medida	Cantidad	Precio (€)	Precio total
Válvula mariposa de 40°	u	1	175	175
Codo de 90° estándar	u	3	11.5	34.5
Bomba centrífuga	u	1	2900	2900
Intercambiador de tubo y coraza	u	1	20000	20000
Tuberías de acero inoxidable DN 40	m	73	15	1095
<b>Costo total de adquisición o inversión</b>				<b>€ 24204.5</b>