

**Universidad de Matanzas**  
**Facultad de Ciencias Técnicas**  
**Departamento de Química**



*Tesis presentada en opción al título académico de Ingeniero  
Químico.*

***Título:*** *Procedimiento para la modificación tecnológica de la  
estación de limpieza en el proceso productivo de la UEB  
Combinado Industrial “Héroes de Girón” de Jagüey Grande*

***Autor:*** *Saily Echevarría Quintero*

***Tutor:*** *Dr. C. Lourdes González Sáez*

*MSc. Luis Alberto Olivera Díaz*

***Consultante:*** *Dr.C. Lilian Curiel Lorenzo*

*Matanzas, Diciembre del 2021*

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

Declaro ser el único autor del trabajo de diploma titulado “Procedimiento para la modificación tecnológica de la estación de limpieza en el proceso productivo de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” de Jagüey Grande”, presentado en opción al título académico de Ingeniero Químico. Autorizo a la Universidad de Matanzas y al Combinado Industrial “Héroes de Girón” de Jagüey Grande a hacer uso de este con la finalidad que estime conveniente.

---

Saily Echevarría Quintero

**NOTA DE ACEPTACIÓN:**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Institución

---

Nombre del presidente del tribunal

---

Firma

---

Evaluación

---

Fecha

*“Los científicos hacen que se conozcan las cosas, el ingeniero hace que las cosas funcionen”.*

*Albert Einstein*



## **DEDICATORIA**

A mis padres Jorge y Adela, por su profundo amor, dedicación y sacrificio, que han hecho de mí una buena mujer.

A mi hermano Wilmer, por todo lo bueno que me ha enseñado, por levantarme cada vez que he caído y enseñarme que si se puede seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi novio Yoriel porque sin su apoyo no hubiese llegado hasta aquí, gracias por cada noche de desvelo a mi lado y demostrarme que cada día es un día mejor.

A mis suegros por darme la fuerza de continuar.

A mis familiares y amigos que siempre me apoyaron.

A Rosmary, Marielsy, Eduardo que se convirtieron en mis hijos en la beca y me ayudaron a no rendirme, gracias por las risas, las fiestas y sobretodo su amistad.

A mis profesores por compartir sus conocimientos y por hacer realidad el sueño de convertirnos en profesionales.

A mi tutor Olivera por darme la oportunidad de trabajar con él y a todo el personal del departamento de tecnología de la UEB.

A mi tutora Lourdes que no dudo en ningún momento en decirme que sí y siempre estuvo pendiente de cada paso que daba.

En fin, a todos que de una forma u otra contribuyeron a ser la persona que soy.

Gracias.

## **RESUMEN**

Este proyecto se realiza en la Empresa de Cítricos, con el objetivo de modificar la estación de limpieza tecnológica en el proceso productivo de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón de Jagüey Grande. En el proyecto se describe el procedimiento para la modificación tecnológica de dicha estación. Se propone la metodología de evaluación de una bomba y un intercambiador de tubo y coraza existente en la Empresa, para ser empleados en el trasiego de sosa cáustica hasta los equipos tecnológicos. Se propone determinar los consumos de agua y combustible así como los ahorros de dichos insumos que representa la modificación de la estación. Esta innovación representará beneficios económicos para la Empresa y el país, expresada en ganancia por concepto de ahorro de combustible y agua. Se describe el procedimiento para determinar el impacto ambiental positivo dado por la reducción de las emisiones de gases de combustión que afectan a la atmósfera.

## **ABSTRACT**

This project is carried out in the Citrus Company, with the aim of modifying the technological cleaning station in the production process of the UEB Combinado Industrial "Héroes de Girón" in Jagüey Grande. The project describes the modified preliminary design of this station. The methodology is proposed for the evaluation of a pump and a tube and shell exchanger existing in the Company, to be used in the transfer of caustic soda to the technological equipment. It is proposed to determine the consumption of water and fuel as well as the savings of said inputs that represent the modification of the season. This innovation will represent economic benefits for the Company and the country, expressed in profit from fuel and water savings. The procedure to determine the positive environmental impact of the reduction of combustion gas emissions that affects the atmosphere is described.



## INDICE

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO .....	3
1.1. Limpieza tecnológica .....	3
1.1.1. Principios generales de la limpieza .....	3
1.1.2. Aplicación de limpieza química .....	6
1.1.3. Proceso de limpieza CIP .....	6
1.1.4. Detergentes a utilizar en el proceso de limpieza .....	8
1.1.5. Evaluaciones de la calidad de soluciones de limpieza .....	13
1.2. Portadores energéticos en la industria .....	13
1.3. Transferencia de calor .....	15
1.3.1. Intercambiadores de calor .....	16
1.4. Impacto ambiental a nivel industrial.....	18
1.4.1. La evaluación del impacto ambiental (EIA) .....	19
1.5. Principales problemas ambientales de la Industria de Cítrico en Cuba .....	21
1.6. Conclusiones Parciales .....	23
CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
2.1. Caracterización de la UEB “Héroes de Girón” .....	24
2.1.1. Descripción tecnológica del proceso productivo .....	26
2.1.2. Estación de limpieza tecnológica actual.....	30
2.2. Propuesta tecnológica de mejora del sistema de limpieza.....	33
2.2.1 Identificación del problema. Diagnóstico .....	33
2.2.2. Propuesta tecnológica.....	34
2.3. Evaluación de propuesta tecnológica .....	35
2.3.1. Evaluación de la bomba.....	36
2.3.2. Evaluación del Intercambiador.....	40
2.4. Beneficios económicos de la propuesta.....	53
2.4.1. Cálculo del ahorro del consumo de vapor .....	53
2.4.2. Cálculo del ahorro de consumo de combustible.....	55
2.4.3. Cálculo de ahorro de agua .....	55
2.5. Evaluación económica y ambiental de la propuesta .....	56
2.5.1. Valoración económica.....	56
2.5.2. Valoración ambiental .....	58
CONCLUSIONES .....	60
RECOMENDACIONES .....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62
ANEXOS .....	

## INTRODUCCIÓN

La UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” es una industria que procesa naranjas, toronjas, tomate y frutas tropicales, principalmente mango, guayaba y papaya para obtener jugos naturales, concentrados y otros subproductos de estas frutas.

Todos los procesos de producción se sustentan en la garantía de la materia prima, el equipamiento tecnológico y los recursos humanos, además juegan un papel importante los servicios que se necesitan como vapor, aire comprimido, electricidad, agua tratada o suave, agua de enfriamiento y soluciones de limpieza. Estos servicios están muy ligados a la eficiencia energética porque el área de generación de vapor y tratamiento de agua son puntos claves en el consumo de portadores de energía, como el fuel oil y la electricidad que constituyen los dos portadores energéticos más importantes de la industria por concepto de consumo, precio en el mercado y por la importancia que tiene su ahorro tanto económica como ambientalmente para la Empresa y por supuesto para el país.

La dirección de la UEB se ha propuesto realizar estudios a las estaciones de mayor consumo energético; por lo que en el pasado año el área de preparación de la solución de sosa, dispuesta para la limpieza tecnológica, fue objeto de estudio, ya que con la diversificación de las producciones se ha incrementado el número de líneas y equipos a limpiar, y a la vez el tiempo de abastecimiento de la solución de sosa a los mismos. Debido al diseño que tiene el esquema de limpieza, la ausencia de aislante en las tuberías y la distancia que existe hasta el área de producción, actualmente es imprescindible aumentar la temperatura de la sosa por encima de los 80 °C para que la estación garantice la eficiencia de la limpieza tecnológica, lo cual representa un mayor consumo de vapor y por ende más combustible, y el desprendimiento de gases contaminantes a la atmósfera, además de atrasos en la producción.

Cumpliendo acuerdo del Consejo Técnico Asesor y del Consejo Energético de la Empresa, el Departamento Técnico se plantea un proyecto para darle solución al siguiente problema:

**Problema:**

¿Cómo garantizar que se mantenga la temperatura adecuada de la solución de limpieza, para que no se vea afectada la eficiencia del proceso en la UEB “Héroes de Girón”?

**Hipótesis:**

Si se propone la modificación tecnológica de la estación de limpieza tecnológica del proceso productivo que se desarrolla en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, se podrá garantizar que se mantenga la temperatura adecuada de la solución de sosa, y por consiguiente que no se afecte la eficiencia de la operación de la limpieza de la planta.

**Objetivo general:** Proponer el procedimiento de modificación tecnológica de la estación de limpieza en el proceso productivo de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón de Jagüey Grande.

**Objetivos específicos:**

1. Proponer la metodología para la modificación tecnológica de la estación de limpieza.
2. Describir el procedimiento para la evaluación de la bomba y el intercambiador a instalar en la propuesta.
3. Describir la metodología para el cálculo del ahorro de materiales auxiliares (agua y combustible).
4. Definir los métodos para la determinación de los beneficios económicos que aporta esta innovación para la Empresa.
5. Proponer la metodología para la evaluación ambiental de la propuesta.

# **CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO**

En el presente capítulo se realiza un análisis bibliográfico relacionado con los diferentes términos empleados en la industria, profundizando esencialmente en las definiciones referentes a limpieza tecnológica, portadores energéticos en la industria e Impacto ambiental a nivel industrial e intercambiadores de calor, con el objetivo de describir las principales herramientas que apoyan el desarrollo de la investigación.

## **1.1. Limpieza tecnológica**

### **1.1.1. Principios generales de la limpieza**

Un sistema de limpieza y desinfección es un protocolo aplicado a todas las áreas de la Empresa, el cual se basa en sucesivos pasos que garanticen la eliminación de restos orgánicos, inorgánicos y microbiológicos. El sistema debe aportar ventajas tanto desde el punto de vista técnico, como económico, y debe contar con procedimientos de higiene escritos que indiquen en forma clara el área o equipo a limpiar y desinfectar, la frecuencia, la forma de hacerlo, los instrumentos a utilizar y el responsable de hacerlo, así mismo debe asegurarse que dichos procedimientos se apliquen y se cumplan.

Se conoce como limpieza al conjunto de operaciones que permiten eliminar la suciedad visible o microscópica. Estas operaciones se realizan mediante productos y detergentes elegidos en función del tipo de suciedad y las superficies donde se asienta (S.A, 2020).

En un establecimiento de elaboración de alimentos es imprescindible la correcta aplicación de un Programa de Limpieza y Desinfección para mantener adecuadas condiciones higiénico-sanitarias y así prevenir las contaminaciones de los alimentos por las superficies que contactan directamente con estos (Estrada, 2007). El mantenimiento de la higiene es una condición esencial para asegurar la inocuidad de los productos (Alderete *et al.*, 2015).

El proceso de limpieza y desinfección debe asumirse como uno más al proceso de producción, sin escatimar los recursos necesarios a utilizar o el personal. Las

razones que obligan a incluir las prácticas de higiene en el proceso tecnológico productivo son las siguientes:

- Mejora de la calidad de los productos, por lo que se evitan las pérdidas económicas por "no calidad". La calidad repercute directamente en la mejora de la imagen de la marca y su comercialización.
- Cumplimiento del decreto No. 18-2020 CONSEJO DE MINISTROS LEY INOCUIDAD ALIMENTARIA

Después de este proceso de limpieza, se puede usar, cuando sea necesario, la desinfección con el objetivo de la reducción temporal del número de microorganismos vivos y la destrucción de los patógenos y alterantes. A veces, las etapas de limpieza y desinfección se combinan usando una mezcla desinfectante-detergente, aunque generalmente, se considera que este método es menos eficaz que el proceso de limpieza y desinfección en dos etapas.

La efectividad de la limpieza viene determinada por varios factores significativos (Fan *et al.* 2018):

- Tiempo de duración del ciclo de limpieza.
- Naturaleza de la suciedad que se va a eliminar.
- Tipo de superficie que se va a limpiar (que esté en contacto o no con el alimento)
- Agente de limpieza, productos químicos o combinación de ellos y la concentración de sus disoluciones.
- Calidad y dureza del agua de lavado.
- Tipo y variedad de alimentos producidos.
- Equipos empleados.
- Instalaciones y material de construcción.
- Temperatura elevada, que proporciona limpiezas más rápidas.
- Velocidad/caudal de paso de la disolución de limpieza a través de la tubería o equipo a limpiar.

Existen varios tipos de limpieza, así como métodos, los cuales son importantes reconocer para poder establecer el momento más apropiado para realizar el proceso, y seguir un procedimiento cuya eficiencia sea la esperada (Gomez, 2019)

### **Tipos de limpieza:**

- Limpieza en seco: Esta se realiza mediante aspiración de los residuos removidos con cepillos o raspadores, en equipos y superficies que no pueden ser humectados porque alteran el producto que se va a elaborar.
- Limpieza húmeda: Es aquella en la cual se emplea una solución limpiadora que por lo general está compuesta por agua y un detergente.

### **Métodos de Limpieza:**

Se conocen los siguientes métodos para aplicar la limpieza: limpieza manual y limpieza CIP o Limpieza *in situ* (del acrónimo Cleaning in Place). En cada uno de los métodos intervienen algunos parámetros como la acción mecánica, química y el tiempo de limpieza o exposición es menor con respecto a otros métodos (Gomez, 2019).

- Proceso de limpieza manual: se emplea el esfuerzo físico como el frotado, la agitación y la aplicación a presión en la cual se utilizan escobas, toallas etc., y tiene lugar mediante una secuencia de acciones como diluir el detergente en el agua, aplicar la solución en la superficie para iniciar el proceso de separación de la suciedad.
- Sistema de limpieza en el sitio CIP: integra limpieza y desinfección sin la intervención directa de manipulador. Es aplicable a circuitos cerrados (intercambiadores, llenadoras) y abiertos (tanques); por ser un sistema de limpieza en el sitio no es necesario desarmar el equipo. Este sistema se puede aplicar a partir de unidades descentralizadas o de una unidad central, que permite la recirculación de la solución limpiadora.

Un correcto estudio del diseño ingenieril permite evaluar el tipo de sistema, así como diseñar la combinación apropiada de los factores arriba mencionados (Gomez, 2019).

### 1.1.2. Aplicación de limpieza química

Para cada área se debe establecer la frecuencia de limpieza requerida de acuerdo al volumen de trabajo, personal y material que se utiliza. Puede escogerse la aplicación de un tipo de limpieza química atendiendo al proceso tecnológico. Puede dividirse el proceso a limpiar de dos formas (Maciel, 2017):

- Equipos de superficie fría: Son aquellos equipos que no contemplan tratamiento térmico, por ejemplo (tanques de almacenamiento, equipos de recepción, etc.), puede decirse que es necesaria una limpieza alcalina todos los días y una limpieza ácida una vez por semana.
- Equipos de superficie caliente: Contemplan tratamiento térmico, se recomienda usualmente una limpieza diaria con álcalis y con ácidos, por ejemplo (pasteurizadores, etc.).

### 1.1.3. Proceso de limpieza CIP

El sistema CIP (Limpieza *in situ*), se podría definir como la limpieza realizada en el interior de los circuitos de las plantas de producción, sin desmontar o cambiar el estado de funcionamiento para asegurar la consistencia y sostenibilidad.

Los elementos necesarios para una buena limpieza y desinfección vienen determinados por el círculo de *Sinner*: producto de limpieza, energía mecánica, temperatura y tiempo. Estos cuatro elementos deben estar presentes en todo momento durante la actividad de limpieza en distintas contribuciones. De este modo, si se quiere disminuir alguno de estos elementos se debe(n) incrementar otro(s). A estos cuatro elementos por otra parte, hay que incluir además otro elemento adicional: la cobertura. Es decir, que las disoluciones de limpieza accedan de manera adecuada a todas las superficies a limpiar (Pozuelo, 2017).

El sistema CIP es aplicado a la industria donde la higiene de las plantas de producción es crítica, usando una serie de insumos químicos, temperatura y agua en un proceso de recirculación, sin necesidad de desmontar equipos, por lo que resulta ser un proceso de limpieza bastante eficiente. Este se enfoca

principalmente en la remoción de sólidos, causantes de contaminación y otros problemas complejos en la industria (Klaxen, 2020)

El sistema CIP permite desarrollar las labores de limpieza y desinfección minimizando las posibilidades de contaminación. Esta tecnología ha alcanzado un lugar importante para muchas industrias como la de alimentos y bebidas, farmacéutica, cosméticos, salud, entre otras.

La limpieza *in situ* utiliza el paso de un líquido limpiador a alta velocidad sobre las superficies del equipo, generando un efecto de lavado mecánico que desaloja cualquier residuo contaminante. Por esta razón, cuando se limpian las líneas de los equipos de proceso se debe tener la velocidad del fluido correcto. Para cada proceso de limpieza y desinfección CIP se deberá diseñar un programa, de acuerdo al tipo de producto en producción, las posibilidades de limpieza de los equipos y el nivel de desinfección que requiera cada aplicación (Fan, et al 2018).

#### **1.1.3.1. Insumos químicos usados en limpieza CIP**

Los principios activos de uso común para la eliminación de la suciedad bajo el método CIP incluyen (Klaxen, 2020):

- Soda Cáustica
- Ácidos Fosfórico y Nítrico
- Hipoclorito de Sodio
- Ácido Peracético.

Sin embargo, existen diferentes alternativas que ofrece el mercado, mucho más favorables para la limpieza y desinfección del sistema CIP, brindando soluciones que generan (Klaxen, 2020):

- Ahorro de agua
- Menos pasos de limpieza
- Ahorro en energía
- Disminución de riesgos laborales



- Limpieza más rápida
- Optimización de procesos
- Limpieza más rápida y efectiva
- Protección al medio ambiente
- Reducción de fosfatos y nitratos

### **1.1.3.2. Ventajas de los sistemas CIP**

El sistema de limpieza CIP brinda las siguientes ventajas (Klaxen, 2020):

- Aumento en la calidad de los productos
- Disminución de los riesgos de contaminación
- Disminución de los tiempos de limpieza y por ende de los tiempos de paro de los equipos
- Disminución de los costos de limpieza debido al menor consumo de líquidos limpiadores y personal
- Disminución de los efectos ambientales de la descarga de químicos

Para limpiar y desinfectar un equipo de producción con el sistema CIP es importante tener en cuenta (Klaxen, 2020):

- La velocidad adecuada de flujo de insumos químicos
- El tiempo requerido para la remoción de sólidos (40 minutos para la limpieza profunda y 15 minutos rutinaria)
- La temperatura (que sobrepase los 50°C, pero no mayor a 75°C)
- Es importante que el sistema de retorno devuelva rápida y eficientemente las soluciones de limpieza al inicio del sistema.

### **1.1.4. Detergentes a utilizar en el proceso de limpieza**

Los detergentes tienen dos propiedades fundamentales: reducen la tensión superficial del agua y suspenden o emulsionan la grasa y la suciedad. La tensión superficial impide que el agua sea capaz de arrastrar la grasa. La mayoría de los

detergentes compuestos contienen sustancias activadoras de superficie que reducen la tensión superficial del agua, estimulando la penetración de la solución detergente en los depósitos de suciedad y dando lugar a la desintegración de las partículas en otras más pequeñas, fácilmente dispersables (emulsificación en caso de aceites y grasas) (Maciel, 2017).

Su poder humectante deriva de agentes tensoactivos. Los hay iónicos, no iónicos y anfóteros. Los iónicos pueden ser aniónicos (jabones, alquilsulfatos, etc.) o catiónicos (alquilaminas, derivados de amonio cuaternario, etc.). Entre los no iónicos se encuentran los derivados de condensación del óxido de etileno, ésteres de sorbitol, etc., mientras que los anfóteros presentan simultáneamente varios grupos aniónicos y catiónicos. También contienen agentes secuestradores tales como fosfatos, los cuales fijan los iones de calcio presentes en aguas duras, permitiendo que los surfactantes sean más eficaces. (Maciel, 2017).

Cada detergente tiene una temperatura óptima para lograr una limpieza eficaz. La mayoría de los productos de limpieza trabajan más rápida y eficazmente a temperaturas altas, por lo tanto, puede ser beneficioso limpiar a una temperatura alta. A menudo, la limpieza se realiza a temperaturas entre 60 y 85°C en zonas donde, en términos de energía, compensa utilizar temperaturas tan altas. Exceder esta temperatura no trae aparejada necesariamente una mejora, pero puede estar asociado con un deterioro (Torrecilla, 2021).

Los álcalis son usados en los detergentes para disolver las proteínas y convertir la grasa en una forma más fácilmente soluble. Tienen también cierto efecto bactericida. Los álcalis más comunes son el Hidróxido de sodio (NaOH - sosa cáustica), los silicatos y los carbonatos (Estrada, 2007).

### **Tipos de detergentes**

- Fuertemente alcalinos: Tienen elevado poder disolvente. Se formulan a base de hidróxido de sodio. Son efectivos para remover las grasas y materiales proteicos. Deben manejarse con gran cuidado y por personal especializado. Pueden emplearse por el método CIP, es decir, por circulación en circuito cerrado.

- Suavemente alcalinos: Son mucho menos corrosivos. Contienen álcalis como carbonato tetrasódico y fosfato trisódico, entre otros. Llevan agentes secuestrantes fosfatados y tensoactivos del tipo alquilurilsulfonato.
- Fuertemente ácidos: Deben manejarse con mucho cuidado por personal especializado. Pueden contener ácido sulfúrico, nítrico o fosfórico junto con un inhibidor de corrosión. Eliminan los precipitados causados por aguas duras, y los de calcio y magnesio causados por los limpiadores alcalinos o fosfatos como el oxalato de cálcico. Se les adiciona agentes humectantes (Klaxen, 2020).

Principalmente se utilizan tres compuestos químicos como agentes alcalinos, estos son:

- Soda o sosa cáustica (NaOH)
- Carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)
- Fosfato de sodio (Na<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)

La concentración de este tipo de soluciones normalmente se encuentra entre 2 y 3% a un rango de temperatura de 60 a 85 °C (Estrada, 2007).

La eficacia de un desinfectante también depende de los organismos que se quieren combatir, de su modo de multiplicación, de su resistencia al medio ambiente y a las sustancias químicas. La concentración del desinfectante, el tiempo de contacto con las superficies, la temperatura ambiente, y muchos otros factores, también tienen importancia (Kastenhuber, 1991).

#### **1.1.4.1. Propiedades, reacciones y almacenamiento de la soda cáustica**

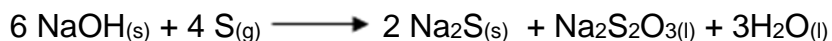
El hidróxido de sodio, también conocido como sosa o soda cáustica es un líquido viscoso blanco, que presenta puntos de fusión y ebullición de 12 y 145 °C respectivamente. Es soluble en agua, alcoholes y glicerol, insoluble en acetona (aunque reacciona con ella) y éter. Es una sustancia no biodegradable y corrosiva, por lo que es importante almacenarla en un área fresca y bien ventilada (KG, 2015).

Por tratarse de un álcali fuerte es altamente reactivo:

a) Reacción con cloro forma hipoclorito



b) Reacción con azufre forma sulfuro y tiosulfato



Reacciona además con algunos metales como el aluminio, latón, plomo, zinc y las aleaciones que contengan dichos metales. El contacto con metales tales como aluminio, magnesio, estaño o zinc puede liberar gas hidrógeno (inflamable y explosivo). Corroe al hierro y al cobre. Reacciona con sales de amonio produciendo amoníaco, originando peligro de incendio. El contacto con la humedad o con el agua genera calor. El contacto con ácidos y compuestos halogenados orgánicos, especialmente tricloroetileno, puede causar reacciones violentas. El contacto con nitrometano o con otros compuestos nitro similares produce sales sensibles al impacto. Reacciona rápidamente con varios azúcares para producir monóxido de carbono. Cuando este material se calienta hasta la descomposición puede liberar óxido de sodio. La descomposición de vapores corrosivos de hidróxido de sodio genera productos peligrosos (KG, 2015).

**Condiciones de almacenamiento y manipulación:** Para su almacenamiento se utilizan tanques de hasta 1500 L de capacidad. Los recipientes pueden tener formas hexagonales y horizontales con dimensiones de 0,5 m de alto y 1,74 m de diámetro. Los tanques son de polímeros (plástico), los cuales no necesitan protección. La soda cáustica puede ser almacenada en condiciones atmosféricas normales. Las zonas de almacenamiento y sus alrededores deben ser lugares limpios y secos sobre paletas en condiciones ambientales normales (KG, 2015).

#### **1.1.4.2. Preparación de la sosa cáustica en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”**

Para la limpieza en la UEB se utiliza la sosa cáustica como agente alcalino, la operación se inicia con una solución más concentrada preparada con el objetivo de agilizar la preparación de los tres tanques que se consumirán en la limpieza de

las diferentes áreas de la planta de producción. Para este fin se utiliza un tanque de 30 000 L, y el procedimiento de preparación es el siguiente:

- Añadir agua al tanque de preparación (la cuarta parte del tanque) y echar perlas de sosa cáustica hasta que se admita por el nivel de la rejilla. Poner el agitador y repetir la operación hasta llenar el tanque de 30 000 L.

Si la sosa cáustica se recibiera líquida, en lugar de perlas, entonces se mantendría en el tanque de solución madre y se procediera de igual forma.

Para preparar la solución en los tres tanques se procederá de la siguiente manera:

- Añadir agua a los tres tanques hasta la tercera parte de ellos.
- Comprobar que todas las válvulas estén correctamente abiertas o cerradas.
- Se llena el tanque de preparación con solución madre del tanque de sosa cáustica más concentrada.
- Se pone a funcionar la bomba y se envía hacia los tanques, recirculando por un tiempo de 15 a 20 min.
- Se abre la válvula de vapor que está en extracción.
- Se regula las dos válvulas de entrada de vapor al área de preparación de la sosa cáustica.
- Esperar 5 minutos y tomar una muestra a cada tanque y llevarla al laboratorio para realizarle el análisis. Las especificaciones de calidad para la solución de sosa cáustica, es que debe tener una concentración del 2 al 4%.
- Parar las bombas si da correcto el análisis, sino informar al Técnico de Línea o al Jefe de Turno, para tomar las medidas necesarias para ajustar la solución de sosa cáustica a las especificaciones de calidad.
- Realizar un Registro de Control de la sosa cáustica, que lo llena el Jefe de Línea y Control de Calidad y se archiva durante la campaña (R/Pr/G-18-1)

La sosa cáustica se debe preparar antes de usar, apenas llegue a la temperatura recomendada. No dejar que se enfríe más. Si se deja enfriar completamente esta irá absorbiendo dióxido de carbono del ambiente y formará una capa de carbonato de sodio que enturbiará la lejía (Departamento tecnología, 2015).

### **1.1.5. Evaluaciones de la calidad de soluciones de limpieza**

Un asunto adicional con respecto a las soluciones de limpieza y sosa cáustica, es su calidad microbiológica. La razón para estas verificaciones es evitar la diseminación de la contaminación por la planta, debido a cargas altas de esporas en las soluciones de limpieza (Torrecilla, 2021). Por ello es necesario el conocimiento de varios conceptos que se relacionan:

**Concentración:** La medición de la concentración es el requisito más importante en la efectividad de la limpieza ya que la misma muestra la relación que hay entre la cantidad de soluto y la cantidad de disolución o de disolvente, donde el soluto es la sustancia que se disuelve, el disolvente es la sustancia que disuelve al soluto para obtener una disolución.

**Medición del pH:** La medición del pH para obtener la medida de acidez y alcalinidad de la disolución puede ser un método eficaz y rápido para evaluar la calidad y concentración de líquidos. Aunque este método puede dar resultados que no coincidan con los valores verdaderos ya que si el líquido se contamina, el valor del pH y la concentración no coincide con los valores reales. Por lo que se recomienda usar un conductímetro para determinar la concentración de los líquidos de limpieza.

**Conductividad:** Muchas son las unidades de limpieza que están equipadas con un conductímetro, instrumento microprocesador usado en procesos industriales para la medición y regulación en línea de la conductividad. La conductividad se calcula a partir de la intensidad de la corriente que fluye a través del fluido a medir a un voltaje de referencia conocido. Se debe destacar que el mecanismo de la conductividad variara en relación al estado en el que se presente la materia.

### **1.2. Portadores energéticos en la industria**

La obtención y uso de la energía ha sido fundamental en el despegue económico, científico y social sin precedentes experimentado por la humanidad en los últimos dos siglos. La producción de energía es vital para la expansión económica y la reducción de la pobreza en el mundo (Bermúdez, 2014).

En Cuba más del 40% de la capacidad de generación eléctrica está basada en plantas generadoras distribuidas de pequeña escala. Este es uno de los más altos índices a nivel mundial. Estas plantas generan en base a combustible diesel, *fuel-oil*. Cuba depende de los combustibles fósiles para generar electricidad y el país consume 7,6 millones de toneladas de petróleo al año. La Revolución Energética en Cuba es un cambio radical en la manera en que el país utiliza los portadores energéticos. En términos prácticos, la Revolución Energética ha sido de forma inmediata una salida de la crisis energética sufrida por el país en los últimos años. Dicha estrategia permitirá una transición hacia un nuevo paradigma energético (Pich, 2009).

Es importante prestarles atención a los sistemas de generación de vapor en las industrias, la mayor parte de las mejoras están en la operación y mantenimiento del sistema de distribución y consumo. En estas áreas normalmente se tienen fugas y equipos funcionando de forma inadecuada (Serrano et al., 2006).

Los sistemas de vapor tienen hoy en día un uso muy extenso en aplicaciones diversas, tales como: generación de energía mecánica y eléctrica, agente calefactor en servicios comerciales e industriales, y materia prima en determinados procesos; entre otros (Valverde, 2005).

El vapor es utilizado de forma general como fuente de calor o para generar potencia mecánica. En las plantas térmicas el vapor se expande en una turbina, su energía es transformada en potencia mecánica, y esta a su vez en potencia eléctrica. En los procesos industriales el vapor es utilizado como fuente de calor para múltiples aplicaciones. En los sistemas de energía total, o esquemas de cogeneración, el vapor se utiliza para la producción combinada o secuencial de energía eléctrica y térmica, lo cual incrementa la eficiencia global del sistema (Barajas, 2005).

El uso eficiente de los portadores energéticos durante el procesamiento industrial de cítricos constituye una de las principales razones para trabajar en el logro del manejo de los recursos energéticos y reducir uno de los principales gastos para la Empresa.

En la mayoría de las plantas de procesos se presenta la necesidad de transferir energía térmica entre fluidos o de fluidos a sólidos, tanto para calentar, enfriar, evaporar como para efectuar tratamientos térmicos, etc. Esta operación cumple muchas veces un papel fundamental en el procedimiento de elaboración ya que de ella puede depender la calidad de un producto o la eficiencia del proceso mismo en cuestión, en donde las temperaturas son parámetros críticos. En muchas situaciones estas operaciones de transferencia de calor deben efectuarse en tiempos muy cortos, a altas velocidades de transmisión, dado que algunos de los productos pueden alterarse (Prévez et al., 2007).

### **1.3. Transferencia de calor**

En el proceso existen varios equipos (tanques, bombas, centrífugas), pero en particular los intercambiadores de calor son de suma importancia en el proceso del cual se describe ya que son los encargados de la transferencia de calor entre los fluidos.

Según Bergman y Lavine (2021), la transferencia de calor se puede definir como la energía en tránsito que fluye debido a una diferencia de temperatura. Cuando existen dos o más cuerpos, ya sean fluidos o sólidos, que tengan diferencias de temperaturas debe ocurrir el intercambio de calor del medio que se encuentra a mayor temperatura hacia el de menor temperatura (Ley Cero de la Termodinámica). La tendencia es a alcanzar el equilibrio térmico, que no es más que igualar la temperatura de ambos cuerpos o medios. Esta transferencia de calor puede ocurrir por: conducción, convección y radiación, aunque estos tres procesos pueden tener lugar simultáneamente, puede ocurrir que uno de los mecanismos predomine sobre los otros dos.

- **Conducción:** Es la transferencia de calor que ocurre desde partículas con más energía hacia partículas con menos energía debido a la interacción o contacto entre ellas. En presencia de un gradiente de temperatura, la transferencia debe ocurrir en la dirección en la que decrece la temperatura. Es un fenómeno de tipo difusivo. La rapidez o razón de la conducción de calor a través de un medio depende de la configuración geométrica de éste, su espesor y el material de que



esté hecho, así como de la diferencia de temperatura a través de él (Cengel, 2007).

- **Convección:** Es la transferencia de calor que se realiza a través del contacto entre una superficie y un fluido en movimiento (gas o líquido), cuando se encuentran a temperaturas diferentes. La convección puede ser clasificada de acuerdo a la naturaleza del flujo (convección forzada y convección libre). La convección forzada se define cuando el flujo es causado por medios externos, tales como: ventilador, bomba o vientos atmosféricos. La convección natural o libre, se refiere al flujo inducido por fuerzas de empuje que surgen a partir de la diferencia de densidad ocasionada por la variación de la temperatura en los fluidos; por ejemplo, la transferencia de calor desde un pavimento caliente a la atmósfera durante el día. En la convección, un importante grupo de moléculas se mueve aleatoriamente como agregados lo cual, en presencia de un gradiente de temperatura, aumenta la transferencia de calor (Cengel, 2007).

- **Radiación:** La radiación es la energía emitida por una superficie a través de ondas electromagnéticas. La emisión de energía se atribuye normalmente a cambios de configuración electrónica en átomos o moléculas (Cengel, 2007).

### **1.3.1. Intercambiadores de calor**

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 tubo y coraza.

Los intercambiadores de calor son los dispositivos que permiten transferir la energía en forma de calor de un fluido a otro sin ponerlos en contacto directo, la transferencia se produce a través de una pared sólida que los separa. Un entendimiento básico de los componentes mecánicos de los intercambiadores de calor es necesario para comprender cómo estos funcionan y operan para un adecuado desempeño (Jaramillo, 2007)

Existen varios tipos de intercambiadores de calor (Jaramillo, 2007):

- Intercambiadores de calor de tubo y coraza
- Intercambiadores de tubería doble
- Intercambiadores de secciones multitubulares
- Intercambiadores de placa en espiral
- Intercambiadores de placa y armazón
- Enfriadores en cascada
- Enfriadores atmosféricos
- Intercambiadores de calor para sólidos
- Equipos para fusión de sólidos
- Equipos para la solidificación
- Evaporadores
- Evaporadores de circulación forzada
- Evaporadores verticales de tubo corto
- Evaporadores verticales de tubo largo

### **Intercambiadores de calor de tubo y coraza**

Los intercambiadores de calor de tubos y coraza: son aquellos en los cuales ocurre transferencia de calor entre dos corrientes fluidas que no se mezclan o que no tienen contacto entre sí. Un fluido circula por dentro de los tubos y el otro por el exterior (fluido del lado de la carcasa). Se usa una amplia variedad de configuraciones en los intercambiadores de calor de coraza y tubos, según el desempeño deseado de transferencia de calor, caída de presión y los métodos empleados para reducir los esfuerzos térmicos, prevenir fugas, fácil mantenimiento, soportar las presiones/temperaturas de operación, y la corrosión. Son el tipo de intercambiadores más usados en la industria en general (Camaraza, 2020; Cuellar, 2016, Kunkel et al., 2018).

Según Bergman y Lavine (2021), a nivel mundial los intercambiadores más empleado en la Industria química en general son los intercambiadores de calor de tubo y coraza, pues son intercambiadores diseñados “a la orden” para cualquier capacidad o condiciones de operación; desde vacío hasta ultra alta presión (alrededor de 100 MPa), desde temperaturas criogénicas hasta altas temperaturas

(alrededor de 1100 °C), cualquier diferencia de temperaturas y/o caída de presión entre los fluidos, limitados solo por el material de construcción. Además pueden ser diseñados para condiciones especiales de operación como: fluidos extremadamente viscosos, vibración, erosión, corrosión, mezclas multicomponentes y otros. Su tamaño varía desde muy pequeños (0,1 m<sup>2</sup>) hasta gigantes (100 000 m<sup>2</sup>), lo cual convierte a estos intercambiadores en los más versátiles en cuanto a variedad de materiales de construcción y tamaño.

Otros autores como Holman (2002), plantean que los intercambiadores de tubo y coraza no son intercambiadores compactos. Así que requieren un espacio considerable en la planta y presentan elevados costos de adquisición, instalación y montaje. Por lo que señala que la mayoría de ellos comparados con los correspondientes intercambiadores compactos son más caros y deberían ser reemplazados por estos últimos siempre que las condiciones lo permitan.

El autor considera que los intercambiadores de calor de tubo y coraza, son los que se presentan más convenientes; de acuerdo a las características de diseño y operación que poseen, para su empleo en la Industria alimenticia; a pesar de que pueden tener un precio de adquisición elevado; coincidiendo con lo planteado por Bergman y Lavine (2021).

#### **1.4. Impacto ambiental a nivel industrial**

El desarrollo industrial induce una fuerte reactivación socioeconómica y mejoras en la calidad de vida de la población, por otro lado puede provocar importantes modificaciones que ocasionan el desequilibrio de ecosistemas, diversas formas de contaminación y otros problemas ambientales y sociales. Si bien el desarrollo industrial de un territorio puede inducir una fuerte reactivación socioeconómica y mejoras en la calidad de vida de la población, también es capaz de ocasionar importantes modificaciones del entorno y diversas formas de contaminación del aire, las aguas y los suelos, agotamiento de recursos naturales y su degradación. Todo ello influirá negativamente, de forma directa o indirecta sobre el bienestar, la calidad de vida y la salud de la población. Debe realizarse un riguroso análisis científico dirigido a identificar y ponderar la magnitud y severidad de los posibles

impactos ambientales y en la salud; derivados de un proyecto de desarrollo y, en consecuencia, la adopción de las medidas de prevención y control pertinentes, así los efectos negativos serán minimizados, en tanto sean maximizados los positivos, proceder denominado “evaluación de impacto ambiental (Suarez, 2014).

En la industria los contaminantes atmosféricos se generan a partir de los procesos de combustión, procesamiento químico o biológico, o durante la transformación de las materias primas. Los contaminantes atmosféricos más comunes incluyen: materiales particulados, aerosoles, óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos, ozono, oxidantes fotoquímicos, dióxido de carbono, monóxido de carbono, ruido, radiaciones, etc.

La composición y el volumen de los residuos generados por la industria de alimentos dependen tanto del tipo de materias primas, como de las técnicas de procesamiento utilizadas. En general, se producen grandes cantidades de residuos sólidos y líquidos, la mayoría de los cuales son biodegradables. Los residuos gaseosos corresponden a gases de combustión generados en los hornos y calderas. Este tipo de industria consume grandes cantidades de agua, principalmente, en las operaciones de lavado, tanto de equipos como de materias primas y productos (Davis M et al., 1991)

#### **1.4.1. La evaluación del impacto ambiental (EIA)**

Se han desarrollado procedimientos para identificar, evaluar y mitigar los efectos para el ambiente y la salud vinculados a los principales proyectos industriales, agrícolas y otros grandes proyectos de desarrollo antes de que los mismos se ejecuten. Se han preparado guías de evaluaciones de impacto en salud ambiental (EISA) por varias organizaciones internacionales incluyendo la oficina regional de la OMS para Europa (1985,1986). Varios países también han preparado guías nacionales.

Como una evaluación de impacto ambiental (EIA) es un proceso práctico a desarrollar en un plazo relativamente breve, generalmente no es posible ejecutar simultáneamente una investigación preliminar adicional. En consecuencia, las conclusiones usualmente deben ser basadas en conocimiento científico aceptado

actualmente. Más aún, no pueden ejecutarse mediciones actuales durante la etapa preparatoria de un proyecto, que no sean evaluaciones de los niveles de base o mediciones de proyectos pilotos (Suarez, 2014).

En muchos casos, los ingenieros enfrentan la tarea de mejorar el desempeño de empresas que llevan años de operación y que no presentan los estándares ambientales requeridos. El mejoramiento del desempeño ambiental de una empresa se logra mediante la implementación de (Suarez, 2014):

- Medidas de gestión
- Modificaciones tecnológicas.

Las modificaciones mayores implican grandes inversiones, por lo que sólo se deben implementar una vez que se hayan agotado las medidas de gestión tendientes a obtener el máximo potencial de la base tecnológica existente.

En la gran mayoría de los casos, la implementación de medidas de gestión va acompañada de modificaciones tecnológicas menores relativamente sencillas y de bajo costo, destinadas a:

- Reemplazar y/o reparar aquellas unidades críticas que afectan la eficiencia operacional, la calidad del producto, la seguridad y el desempeño ambiental.
- Evitar pérdidas obvias de materiales y energía.
- Mejorar la capacidad para medir las principales variables de proceso e implementar sistema de control donde sea necesario.
- Facilitar la gestión y tratamiento de los residuos mediante una segregación racional que privilegie un mejor aprovechamiento de los recursos.

Las nuevas estrategias para reducir el impacto ambiental derivado de la actividad industrial, se basan en un enfoque integral preventivo, que pone énfasis en una mayor eficiencia en la utilización de los recursos materiales y energéticos, incrementando simultáneamente la productividad y la competitividad.

El primer objetivo de una estrategia de control ambiental en la industria de procesos es prevenir o reducir la generación de los contaminantes en su fuente.

Sin embargo, en la práctica, las limitaciones tecnológicas y las restricciones impuestas por los procesos mismos hace casi inevitable la generación de residuos de producción, los cuales deben ser tratados antes de su descarga a los medios receptores.

Las tecnologías de tratamiento de residuos tienen como objetivo disminuir el impacto ambiental de dichas descargas, y generar residuos finales que cumplan con los flujos y concentraciones de contaminantes estipulados en la legislación vigente, o en las políticas de la empresa (Perkins, 1974).

### **1.5. Principales problemas ambientales de la Industria de Cítrico en Cuba**

La industria de procesamiento de cítricos puede considerarse una fuente importante de contaminación líquida, sólida y de emisiones a la atmósfera si no mantiene una adecuada disciplina tecnológica y asegura un eficiente manejo de todos sus recursos. Es una prioridad para las industrias procesadoras de frutas cítricas en Cuba producir económicamente y de forma respetuosa con el medio ambiente, pues las instalaciones productivas están enclavadas en zonas de importancia estratégica socioeconómica como son la Cuenca del Cauto en Contramaestre, el Río Cuyaguaje en Pinar del Río, la Ciénaga de Zapata en Matanzas y la Laguna de la Leche en Ciego de Ávila (Prevés, 2007).

Los residuales líquidos que se generan durante los procesos contienen ácidos, álcalis, materiales orgánicos y tóxicos como los aceites esenciales que son descargados en distintos períodos de tiempo y en ocasiones a altas temperaturas por lo que se requiere prestar especial atención a la reducción de las emisiones para prevenir la contaminación ambiental. Se requiere de inversiones de capital para introducir tecnologías más limpias en la industria y reducir las emisiones de residuos a los ríos y fuentes de abastecimiento de agua. El residuo sólido proveniente del procesamiento industrial de cítricos, comúnmente llamado hollejo, está compuesto principalmente por la cáscara, pulpa y semillas. Puede estimarse la cantidad del hollejo húmedo que se genera en un 50% del peso de la fruta para la naranja y el 60% en la toronja. El hollejo es considerado además una fuente excelente para la producción de suplemento alimentario para el ganado vacuno, la

producción de mieles cítricas, d-terpeno, pectina y flavonoides fundamentalmente. Las emisiones gaseosas a la atmósfera se generan por el uso de portadores energéticos durante los procesos de concentración del jugo, la transportación del personal y del producto terminado, así como la utilización de gases refrigerantes en las cámaras de enfriamientos (Prevés, 2007).

Entre las principales causas que agravan los problemas ambientales se pueden identificar (Prevés, 2007).

- El poco aprovechamiento de todos los subproductos como las celdillas y pulpas, provocando un aumento de la carga contaminante al verterlos a los efluentes industriales.
- La inadecuada disciplina tecnológica que provoca el vertimiento de residuos sólidos y tóxicos a las plantas de tratamiento.
- El consumo elevado de los recursos naturales, hídricos y energéticos que intervienen en el proceso.
- La no reutilización de las corrientes que se generan en el proceso productivo y la deshabilitación de los sistemas de recirculación que aumentan el volumen y la carga contaminante de los efluentes industriales.
- Los problemas con la recogida y disposición del hollejo, lo que provoca paradas innecesarias en el proceso y contamina las zonas donde son vertidos.
- El limitado acceso a capital de inversión a bajo y/o moderado costo.

Entre los principales impactos ambientales que puede generar la industria se encuentran (Departamento de tecnología, 2015).

- Modificación de la calidad de los suelos por el vertimiento de residuos líquidos y sólidos (hollejos) sin previo tratamiento. La acidez de estos productos produce erosión en los suelos donde son vertidos con una recuperación muy lenta una vez detenido el impacto lo que provoca el desarrollo de cultivos con síntomas de enanismo y altos niveles de toxicidad en las zonas afectadas;
- Incremento de los niveles de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por la disposición de residuales líquidos a los cuerpos receptores sin el adecuado tratamiento previo requerido;

- Pérdida de la biodiversidad por el vertimiento de los residuos sin tratar al ecosistema;
- Proliferación de insectos, vectores y malos olores en las zonas afectadas;
- Desprendimiento de metano de forma incontrolada por la digestión anaerobia de los residuales líquidos y sólidos;
- Utilización de refrigerantes agotadores de la capa de ozono en el proceso de conservación de las producciones;
- Agotamiento del recurso agua por el exceso de su consumo durante el procesamiento industrial;
- Modificación del paisaje natural por las nuevas inversiones realizadas además de la disposición de nuevos terrenos para el autoconsumo y áreas verdes;
- Generación de empleos, oportunidades económicas y estimulación al desarrollo industrial;
- Fomento de comercio y servicios;
- Aumento de la población en la periferia de la instalación con el surgimiento de barrios espontáneos que requieren de atención social, servicios comunales y de salud.

## **1.6. Conclusiones Parciales**

1. La limpieza será una operación que le corresponde un proceso de control que permitirá tomar decisiones inmediatas sobre si se debe repetir la limpieza, parcial o totalmente para garantizar un producto final de excelente calidad.
2. Las necesidades energéticas están estrechamente vinculadas con el tipo de producto, el volumen de producción y el tamaño de los centros productivos, por razones intrínsecas a los procesos de fabricación, que están fuertemente determinados energéticamente por factores de escala.
3. La apuesta por una tecnología que reduzca el impacto ambiental en la producción es necesaria para evitar la contaminación ambiental y no causar daños mayores.
4. El uso de las sustancias químicas utilizadas en el proceso (sosa caústica) debe tener una preparación con la calidad requerida para que la limpieza sea de excelencia y así evitar la contaminación del producto final.



## **CAPÍTULO II. MATERIALES Y MÉTODOS**

Este capítulo describe de forma breve la caracterización de la UEB Combinado Industrial, su proceso productivo, así como el proceso de limpieza tecnológica. Se diagnostican los problemas asociados en el proceso de limpieza actual y se detalla la metodología para la propuesta de ampliación y mejora tecnológica de dicho sistema. Se expone la valoración económica y ambiental de la propuesta.

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

La Unidad Empresarial de Base (UEB) Combinado Industrial “Héroes de Girón” se funda el 19 de abril de 1983, con el objetivo de procesar los frutos cítricos cosechados por la Empresa de Cítricos “Victoria de Girón”. Está ubicada en el municipio de Jagüey Grande, provincia de Matanzas, en el kilómetro 142 de la Autopista Nacional. Inicialmente fue diseñada para la obtención de una gran variedad de productos a partir de naranja, toronja y limón, tales como:

- Jugos naturales embotellados
- Confituras cítricas
- Jugos Concentrados Pasterizados
- Jugos Concentrados Congelados
- Aceites esenciales y otros productos aromáticos
- Hollejo deshidratado para pectina
- Forraje cítrico deshidratado

Hoy esta industria es la mayor planta procesadora del país con una capacidad anual aproximadamente de 400 000 t de frutas cítricas para la producción de jugos concentrados, jugos simples y aceite esencial exprimido en frío de naranja y toronja. Desde 1994 es miembro de la Asociación Internacional de Productores de Jugo (IFU). Pertenece desde 1997 a la SGF (Organización Internacional para el Control Voluntario de Autenticidad e Higiene de las Plantas de Producción). La Empresa cuenta con un Sistema de Calidad certificado por la Oficina Nacional de Normalización y la firma francesa BVQI. Certificó su Sistema de Calidad según la

Norma Internacional ISO 9002 en abril del 2001. Posteriormente en abril del 2004 lo certificó según las ISO 9001:2000. Desde el año 2003 tiene la certificación KOSHER que permite la comercialización de sus productos en la Comunidad Judía. Las buenas prácticas de producción están bien establecidas y se llevan a cabo por parte del personal. La misión fundamental de la Empresa es producir alimentos de la más alta calidad en completa armonía con el medio ambiente, con honestidad y respeto a los clientes. Sus niveles de ventas crecen y con ello las utilidades, todo basado en una Empresa moderna, diversificada y solvente. Sus principales productos son:

- Jugo Concentrado Congelado de naranja
- Jugo Concentrado Congelado de toronja
- Jugo Simple Congelado de naranja
- Jugo Simple Congelado de toronja
- Jugo Simple Aséptico de naranja
- Jugo Simple Aséptico de toronja
- Celdillas Cítricas de naranja
- Celdillas Cítricas de toronja
- Aceites Esenciales y otros derivados aromáticos de la naranja y la toronja.
- Forraje Cítrico para alimento animal
- Pulpas y néctares de frutas tropicales (piña, mango, guayaba, papaya y tomate)

Para garantizar la calidad óptima de las producciones existe todo un sistema de control y aseguramiento de la calidad amparado por el chequeo de todas los procedimientos, instrucciones de trabajo, guías de operación de los equipos e instrucciones de limpieza, siendo éstas las más importantes, porque el cumplimiento estricto de ellas garantizan que los conteos microbiológicos se encuentren en valores mínimos o nulos.

### **2.1.1. Descripción tecnológica del proceso productivo**

Las frutas son transportadas desde el frente de cosecha a través de camiones hasta la industria, luego se procede a su pesaje en la báscula, continuando hasta el área de recepción donde se descargan, en este sitio es tomado al azar una muestra, para analizar algunos parámetros de calidad de las frutas, se determina la cantidad de sólidos solubles (Brix), acidez y contenido de jugo. Desde el área de descargue son transportadas y elevadas por cintas transportadoras y elevadores de cangilones hasta los silos pasando por una mesa de preselección donde son separados las piedras, palos, pedúnculos que puedan traer desde el campo. Después de un almacenamiento temporal en los silos, la fruta es trasladada por canal de agua hasta la línea de trabajo constituida por (Departamento de tecnología, 2015):

Una lavadora, en este equipo las frutas son lavadas con agua tratada con hipoclorito de sodio, el contenido de cloro en el agua tiene que estar entre 0,5 y 1,0 ppm para eliminar posibles bacterias o microorganismos presentes en las frutas.

El recorrido continúa, subiendo las frutas por un elevador de cangilones hasta el transportador inclinado que alimenta la prensa.

Después pasan por una máquina de calibración o calibradora que está acoplada a la mesa de selección, esta operación se realiza con el fin de separar la fruta en tres calibres o tamaño y así facilitar la correcta extracción del jugo.

Los grupos de frutas calibradas se distribuyen en las cintas que alimentan los extractores, las que están divididas longitudinalmente de acuerdo al diámetro de las copas, que coinciden con el calibre de las frutas que le llega, cuando el extractor está a máxima capacidad las frutas sobrantes no son asimiladas por él, por lo que regresan a las tolvas mediante cintas transportadoras que se denominan cintas de retorno. Los extractores están divididos en tres líneas de trabajo según el calibre de las frutas:

Línea # 1 --- 10 extractores

Línea #2 --- 11 extractores

Línea #3 --- 14 extractores

Línea de frutas tropicales

Línea de mermelada

Los extractores son los encargados de obtener por separado las tres corrientes principales del proceso de producción: el jugo, la emulsión de agua-aceite, los desechos sólidos y la línea de frutales los puré concentrados.

A partir de los jugos y las pulpas extraídas se obtiene una amplia gama de productos mediante procesos diferentes (Departamento de tecnología, 2015):

- Obtención de jugo concentrado congelado
  - Obtención de jugo simple
  - Obtención de jugo natural aséptico
  - Obtención de celdillas cítricas
  - Obtención de puré concentrado aséptico
  - Obtención de mermeladas
  - Obtención de néctares congelados y asépticos
- **Jugo Concentrado Congelado:** después de tamizado, al jugo obtenido en los extractores se le separa la pulpa grosera y pasa a los evaporadores, equipo en el cual por intercambio con vapor de agua se le extrae al jugo, la esencia y el agua que este contiene. Al evaporarse gran parte del agua contenida en el jugo se obtiene concentrado. Este jugo es enviado a los tanques de ajuste cada uno de 20 000 L y previstos de agitadores con el objetivo de homogenizar el lote, si el concentrado queda con un valor de Brix por encima del valor normado se le agrega agua de la que se separó del jugo en el concentrador, y si queda por debajo del Brix se le añade concentrado hasta llevarlo al valor adecuado. Estos tanques están contruidos de acero inoxidable y presentan un doble forro por donde circula amoníaco como agente refrigerante para disminuir su temperatura, ajustado el Brix, y el lote homogéneo, el jugo concentrado se bombea hacia la

llenadora, donde el producto es envasado en dos bolsas de nylon que van dentro de los bidones, una vez llenas las bolsas con el peso requerido, se amarran con un atalazo, posterior a esto es tapado el bidón, asegurada su tapa y almacenados en las cámaras frías a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , listos para su exportación (Departamento de tecnología, 2015).

- **Jugo Simple Congelado:** después de tamizado, al jugo obtenido en los extractores se le separa la pulpa grosera y a diferencia del proceso anterior este no pasa por los evaporadores sino que de forma natural se envasa en tanques de 10 000 L donde se prepara el lote, con los requisitos adecuados y mediante una bomba se alimenta un intercambiador de calor donde se pasteuriza el jugo en intercambio con vapor, con el objetivo de bajar el contenido de pectinas que provoca la deshomogenización del jugo, eliminar microorganismos y bacterias. El jugo es pasteurizado a una temperatura que oscila entre  $96\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $98\text{ }^{\circ}\text{C}$  y el de toronja entre  $94\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $96\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en ambos casos con retención de 10 segundos. El jugo que entra al pasteurizador es precalentado, posteriormente es sometido a un primer enfriamiento con agua de torre, y después pasa por otros dos intercambiadores de calor a placas que utiliza como agente refrigerante el glicol para enfriarse hasta  $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ya con esta temperatura se puede envasar y el flujo es bombeado a la llenadora, se envasa en dos bolsas de nylon que van dentro de los bidones, una vez llenas las bolsas con el peso requerido se amarran con un atalazo, posterior a esto es tapado el bidón, asegurada su tapa y almacenados en las cámaras frías a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , para su posterior exportación (Departamento de tecnología, 2015).
- **Jugo Natural Aséptico:** después de tamizado, al jugo obtenido en los extractores se le separa la pulpa grosera y de la misma manera que cuando se produce jugo simple o natural congelado este se almacena en los tanques de 10 000 L donde se prepara el lote con los requisitos adecuados y mediante una bomba y una válvula de tres vías se alimenta otro tanque de balance que pertenece a la línea de jugo aséptico, de este tanque de balance el jugo pasa a un desareador para eliminar el oxígeno presente en el jugo y así evitar la posterior oxidación del producto, después pasa por un intercambiador de calor

(previamente limpio y estéril) donde se pasteriza el jugo en intercambio con agua - vapor, con el objetivo de eliminar microorganismos y bacterias. El jugo después de alcanzar la temperatura fijada para su pasterización es sometido a un primer enfriamiento con agua de torre y después pasa por la sección de enfriamiento que utiliza como agente refrigerante el glicol, el proceso es totalmente automatizado y cuando todas las condiciones operacionales se cumplen el jugo va directamente a la llenadora aséptica, se envasa en bolsas especiales de alta barrera porque este producto no puede tener el más mínimo contacto con el medio, los cabezales de la llenadora aséptica están diseñados para mantener la esterilidad y el producto final no necesita refrigeración, entonces se envasan en bidones o bines para su posterior exportación (Departamento de tecnología, 2015).

- **Celdillas Cítricas:** en este proceso no se separa el jugo de la pulpa, pues es ahí donde están contenidas las bolsitas de jugo o celdillas. En este proceso se separan los defectos en unos ciclones, se tamiza controlando el porcentaje de celdillas, después se pasteriza con un control estricto de la temperatura, se enfrían y se envasa el producto terminado. Estas celdillas tienen mucha aceptación en el mercado internacional pues al adicionársele estas al jugo evidencian claramente que la bebida contiene jugo natural y da apariencia de frescura (Departamento de tecnología, 2015).
- **Aceites Esenciales:** Mientras los extractores están trabajando es inyectada agua en forma de spray alrededor de las copas que son los dispositivos donde son exprimidas las frutas, en el momento de la expresión estas desprenden de su corteza los aceites esenciales, estos son arrastrado por el agua formándose la emulsión agua-aceite. La emulsión proveniente de los extractores pasa primeramente por un filtro rotatorio con el fin de separar las partículas de mayor diámetro, posteriormente son separadas las partículas de un diámetro mayor a 0,2 mm en un filtro parabólico, la mezcla de agua, aceite y lodos es sometida a centrifugación de dos etapas, una centrífuga deslodadora y otra centrífuga pulidora que es la que separa todos los lodos del aceite esencial. Después va al proceso de descerado (formación de ceras) en cámaras de congelación, las

ceras se eliminan por decantación. El producto se envasa en bidones de acero con recubrimiento interior de resina epóxica. Una vez llenos se almacenan en cámaras refrigeradas a temperatura entre 5 y 10 °C. Estos aceites tienen gran demanda en el mercado de las pinturas, diluyentes y cosméticos (Departamento de tecnología, 2015).

- **Puré Concentrado de Frutas Tropicales y Tomate Aséptico:** después de tamizado, el puré obtenido en las deshuesadoras o molinos se le separa la pulpa grosera y pasa a los evaporadores, equipo en el cual por intercambio con vapor de agua se le extrae al puré, la esencia y el agua que este contiene. Al evaporarse gran parte del agua que contenía el puré se obtiene concentrado. Este puré ya sea de frutas tropicales o de tomate es enviado a la línea aséptica, donde se embasa en bidones con una bolsa de polietileno y otra con barrera de alta densidad (Departamento de tecnología, 2015).
- **Los desechos sólidos** de la fruta (corteza, hollejos y semillas) son transportados a través de tornillos helicoidales hasta almacenarse en tolvas para ser distribuido en camiones como hollejo húmedo para la alimentación del ganado. (Departamento de tecnología, 2015).

### **2.1.2. Estación de limpieza tecnológica actual**

Los insumos que se emplean actualmente en la UEB para la limpieza tecnológica de los equipos de producción son:

- Agua, agente alcalino y agente ácido.
- Bombas Centrífugas.
- Desinfectante.
- Vapor.
- Tuberías de acero inoxidable.
- Válvulas.
- Codos.
- Placas de cambio.

- Tanques para almacenar solución de soda cáustica.
- Tanques para agua fresca.

La limpieza que se realiza en esta área es con soda cáustica a temperaturas entre 70°C y 85°C con concentraciones entre 2 y 4%, el enjuague con condensado vegetal y en algunos momentos de la campaña se pasa desinfectante. La limpieza en cada uno de sus pasos tiene que pasar por donde pasa el producto, o sea, sin dejar tramos muertos. La figura del anexo 1 muestra el diagrama de flujo de la soda y el agua de la estación de limpieza para ser utilizados en los procesos.

Es necesario tener listo permanentemente el depósito de soluciones concentradas. Para la preparación de la soda y su calentamiento existen tres tanques de 3000 L dispuestos en el área de evaporadores, cada uno de ellos tiene un serpentín interior por el que circula el vapor y la cantidad necesaria se controla con válvulas termostáticas (Figura 2.1)

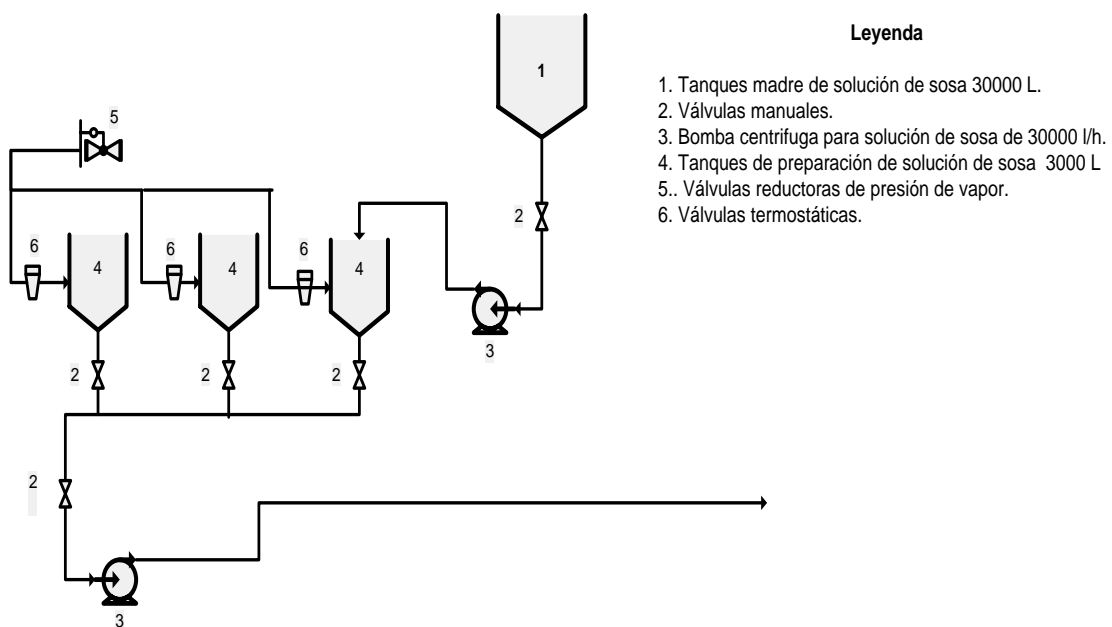


Figura 2.1. Estación de limpieza tecnológica actual

El ciclo de limpieza de los evaporadores de jugo (TASTE) debe ser cada 12 horas y por paradas prolongadas de más de 3 horas para garantizar un trabajo eficiente



del mismo y para mantener las condiciones de higiene. Antes de realizar la limpieza de este equipo es necesario cerrar el sistema de recuperación de esencia para evitar que estos vapores pasen al sistema y contaminen los subproductos.

Para la limpieza se sigue el siguiente procedimiento:

- En caso de estar parado el equipo ponerlo en funcionamiento hasta lograr el vacío.
- Si el equipo está en funcionamiento se acciona el selector para cerrar las válvulas automáticas que dan entrada al vapor para evaporar y la del eyector del enfriador.
- Enjuagar todas las partes del evaporador con condensado y recoger este enjuague en tanques de 200 L para recuperar el jugo que se arrastre y posteriormente reprocesarlo. Esto debe ser por el recorrido del jugo concentrado hasta el final de las tuberías de los tanques de estandarización de 20 000 L.
- Cuando no se detecten residuos de jugo en el agua de enjuague, limpiar con sosa con una concentración del 2 al 4 % y a una temperatura de 70 a 80 °C, recirculándola durante 30 minutos. En el caso del TASTE Funcor esto lo hace automáticamente por accionamiento del selector y se pasa a limpieza, una vez accionado este selector obligatoriamente hay que concluir el ciclo de limpieza sin posibilidades de evaporar.
- Es importante estrangular la salida de la bomba de producto por un tiempo de 3 minutos para garantizar la limpieza del *bypass* de la misma.
- Cuando termine el tiempo de recirculación de la solución de limpieza, hay que conmutar la válvula de recirculación y enviar todo a los tanques de estandarización de jugos concentrados.
- Tanto la solución de limpieza, como las de enjuagues deben circular por la tubería de alimentación a los tanques de concentrado y debe hacerse circular a través de los lazos de la tubería abriendo para ello todas las válvulas.

- Se debe informar al laboratorio para que se controle y revise la limpieza y que el control avale la calidad de la misma, se anota el resultado de la misma en las observaciones del modelo de control del evaporador.
- En los tanques de estandarización para jugos concentrados (20 000 L) existe una placa para realizar la limpieza tecnológica de toda la línea, a esta le llega agua de condensado (cerciorarse que las bombas están puestas y abrir la válvula), sosa, (poner la bomba del área de preparación de la sosa y abrir la válvula), también tiene entrada de desinfectante y mediante una bomba realizar la limpieza con la solución que se encuentre dentro del tanque del CIP previamente preparada.
- Como las bombas de sosa no tienen presión suficiente para garantizar la limpieza en los tramos de entrada de producto de los tanques, estos se limpiarán manualmente con hisopo, enjuagándolos primero, antes de limpiar el tanque. Una vez enjuagados se procede a la limpieza con sosa.
- Encima de los tanques de estandarización se colocan los codos y conexiones, se incluyen los platos orificios que son accesorios de gran importancia para garantizar limpiezas más eficientes.

Para que esta estación garantice la limpieza tecnológica con dicha solución a la temperatura óptima (70 a 80 °C) se requiere aumentar la temperatura por encima de los 80 °C, de lo contrario la limpieza no será eficiente. Esto se debe a las pérdidas de calor, la ausencia de aislante en las tuberías y a la distancia que existe entre esta área y la de producción. Debido a todo lo anterior se recomienda elevar la temperatura por encima de la requerida.

## **2.2. Propuesta tecnológica de mejora del sistema de limpieza**

### **2.2.1 Identificación del problema. Diagnóstico**

El aumento de temperatura de la solución de limpieza se logra, en algunos casos, con el empleo de los intercambiadores de calor instalados en el proceso, sin embargo no todos tienen equipos de transferencia de calor que permita alcanzar la

temperatura deseada de la solución de limpieza. Por lo que es necesario proponer una alternativa de mejora tecnológica del sistema de limpieza, para garantizar que la solución de sosa llegue al tanque de alimentación de los nuevos procesos con la temperatura óptima.

La alternativa radica en la propuesta de un nuevo sistema de flujo con un intercambiador de calor que satisfaga las condiciones operacionales necesarias para el calentamiento de la solución de limpieza y la eficiencia del proceso.

### **2.2.2. Propuesta tecnológica**

Se propone que una vez que los tres tanques disponibles para la preparación de sosa se encuentren llenos y con la concentración requerida (2 a 4%) de dicha solución, se precaliente por mediación de los serpentines hasta una temperatura aproximada a los 50 °C. Luego la solución de limpieza debe ser bombeada hasta un tanque pulmón a partir del cual comienza la propuesta técnica para su calentamiento.

El fluido a circular ya con la concentración deseada necesita un aumento de temperatura; por lo que se precisa hacer uso de una fuente de calentamiento. Para ello se propone un nuevo sistema de flujo que va utilizar un intercambiador de tubo y coraza (DT- 257/JMA/10.301 A.P.V IBERICA), con un área de superficie de 3,52 m<sup>2</sup> que se encuentra en la UEB y actualmente está en desuso.

Se propone fijar un valor de trabajo óptimo de temperatura, en dependencia de la relación existente entre la temperatura de la solución de limpieza (solución alcalina) y la eficiencia de limpieza tecnológica a diferente velocidad de fluido y concentración de dicha solución. Para una concentración de solución caústica entre 2,5 % y 3 % se fija una temperatura de 80°C ± 5°C lo que garantiza eficacia y economía de uso (Departamento de tecnología, 2015) (Anexo 2).

A la salida del intercambiador se coloca una válvula de tres vías que permite el retorno de la solución sódica que no tenga la temperatura deseada al tanque pulmón, para lo cual se propone un control de temperatura automático. Una vez que la temperatura alcance el valor requerido se conecta a las tuberías de alimentación de los procesos tecnológicos, lo que permite disminuir los tiempos de

la operación ya que se pueden limpiar simultáneamente varios de estos procesos. Con la propuesta se garantiza que el recorrido de las soluciones de limpieza por cada equipo tecnológico en las distintas líneas de producción no difiere del actual.

La figura 2.2 muestra el esquema de la propuesta de mejora tecnológica del sistema de limpieza:

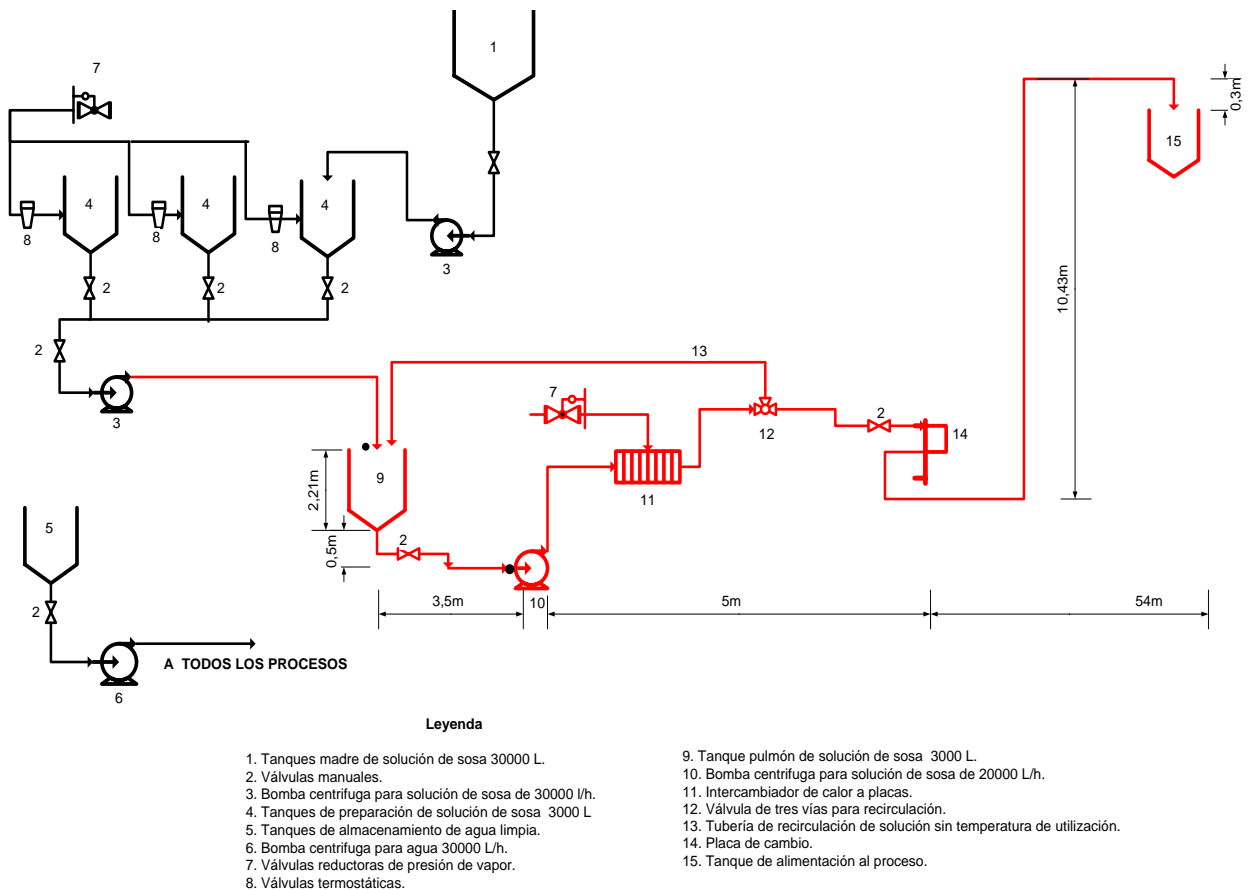


Figura 2.2. Diagrama de modificación tecnológica del sistema de limpieza.

### 2.3. Evaluación de propuesta tecnológica

Para implementar la propuesta la UEB cuenta con una Bomba (Alfa Laval Flow LKH-25, Capacidad nominal: 20 m<sup>3</sup>/h) y un Intercambiador de tubo y coraza (DT-257/JMA/10.301 A.P.V IBERICA), ambos en desuso en la UEB. Se diseña el sistema de flujo y se evalúa que ambos equipos disponibles satisfagan los requerimientos técnicos-operacionales del sistema que se propone.

### 2.3.1. Evaluación de la bomba

La bomba que se pretende reutilizar se encuentra en perfecto estado y en años anteriores se encontraba instalada en una línea de agua en condiciones similares a la que se propone.

Para comprobar si la bomba existente es la adecuada para el trasiego de sosa al proceso, se tiene en cuenta los distintos criterios de selección y diseño de bomba, los cuales son:

- El 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 carga del sistema.
- La carga neta de succión positiva (NPSH) del sistema debe ser positivo y mayor o igual que el NPSH de la bomba.

#### Cálculo de la carga de la bomba ( $\Sigma H_f$ )

Para el cálculo de la carga de la bomba se utiliza la ecuación de balance de energía mecánica de Bernoulli, siguiendo la metodología de Rosabal (2006), que se presenta a continuación:

$$\frac{P_1}{\rho_1 \cdot g} + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot (v_1)^2}{2 \cdot g} + H_b = \frac{P_2}{\rho_2 \cdot g} + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot (v_2)^2}{2 \cdot g} + \Sigma H_f \quad (2.1)$$

Donde:

Punto 1: punto de referencia ubicado en la superficie de la sosa en el tanque pulmón de solución de Sosa

Punto 2: punto de referencia ubicado a la salida del sistema en el tanque de alimentación a los nuevos procesos

$P_1$ : presión en el punto 1 (Pa)

$\rho_1$ : densidad de la sosa en el punto 1 ( $\text{kg/m}^3$ ) [Tabla 2-54, Perry (2019)]

$g$ : aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ )

$Z_1$ : 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)

$H_b$ : carga de la bomba (m)

$P_2$ : presión en el punto 2 (Pa)

$\rho_2$ : densidad de la sosa en el punto 2 ( $\text{kg/m}^3$ ) [Tabla 2-54, Perry (2019)]

$Z_2$ : altura, (eje de referencia 2) (m)

$\alpha_2$ : factor de corrección de energía cinética en el punto 2

$v_2$ : velocidad en el punto 2 (m/s)

$\Sigma H_f$ : pérdidas totales por fricción (tuberías, accesorios y equipos) (m)

A partir de aplicar el balance de energía mecánica (ec 2.1) al sistema de flujo se obtiene la carga de la bomba necesaria para el sistema ( $H_{bs}$ ).

#### Cálculo de las pérdidas por fricción totales ( $\Sigma H_f$ )

Para el cálculo de las pérdidas por fricción totales se consideran las pérdidas en tuberías, accesorios y el intercambiador de calor. Se tienen en cuenta tres tramos en el sistema: el tramo de succión de la bomba y dos tramos en la descarga de la bomba (antes y después del intercambiador). Para la selección de los tramos se tuvo en cuenta la diferencia de los diámetros de las tuberías antes y después de la bomba, y la diferencia de temperatura de la sosa antes y después del intercambiador.

Las pérdidas por fricción totales se determinan por la siguiente expresión:

$$\Sigma H_f = (H_{f_t} + H_{f_{acd}})_{T1} + (H_{f_t} + H_{f_{acd}})_{T2} + (H_{f_t} + H_{f_{acd}})_{T3} + H_{f_{ic}} \quad (2.2)$$

Donde:

T1: Tramo 1 del tanque a la succión de la bomba (1-3)

T2: Tramo 2 de la descarga de la bomba a la entrada del intercambiador de calor (4-5)

T3: Tramo 3 de la salida del intercambiador de calor al tanque (5-2)

$\Sigma H_f$ : Pérdidas por fricción totales de la instalación (m)

$Hf_{JC}$ : Pérdidas por fricción en el Intercambiador de calor (m)

$Hf_i$ : Pérdidas por fricción en las tuberías (m)

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

✓ Tuberías

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

$$Hf_{tub} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{d \cdot 2 \cdot g} \quad (2.3)$$

Donde:

$Hf_{tub}$ : pérdidas por fricción en tuberías (m)

f: factor de fricción

v: velocidad de la sosa por la tubería (m/s)

L: longitud de la tubería (m)

d: diámetro de la tubería (m)

g: valor de la aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)

- Cálculo del área de la tubería ( $A_t$ , m<sup>2</sup>):

$$A_t = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2.4)$$

- Cálculo de la velocidad de la sosa en la tubería (v, m/s)

$$v = \frac{q_s}{A_t} \quad (2.5)$$

Donde  $q_s$  es el flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/h) del vapor [Departamento de tecnología, 2015]

- Cálculo del número adimensional de Reynolds (Re)

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

Donde:

$\rho$ : densidad de la sosa en tuberías a la temperatura de la sosa ( $\text{kg/m}^3$ ) [Tabla 2-54, Perry (2019)]

$\mu$ : viscosidad de la sosa en tuberías a la temperatura de la sosa (Pa.s) [fig 14, Kern (1999)]

$R_e$  - régimen de flujo turbulento ( $R_e > 4000$ ), régimen de flujo laminar ( $R_e < 2100$ )

- Factor de fricción: Se determina en la figura 3.9 del Rosabal (2006) a partir del número de Reynolds y de la rugosidad relativa ( $\epsilon$ ).

$$\epsilon = \frac{e}{D} \quad (2.7)$$

Donde:

$e$ : Rugosidad absoluta (mm). Este valor depende del tipo de tubería (Tabla 9 Rosabal, 2006)

✓ Intercambiador de calor: El valor de las pérdidas por fricción en el intercambiador de calor siguiendo ( $H_{fC}$ ) se encuentra en el manual del intercambiador de calor de tubo y coraza (DT- 257/JMA/10.301 A.P.V IBERICA)

✓ Accesorios

Cálculo de las pérdidas por fricción en accesorios ( $H_{facc}$  m)

$$H_{facc} = \sum k \cdot \left( \frac{v^2}{2.g} \right) \quad (2.8)$$

Donde:

$k$ : coeficientes de resistencias locales de cada accesorio [Rosabal, 2006]

### Cálculo del NPSH del sistema

Para comprobar uno de los criterios de selección de la bomba se calcula el  $NPSH_s$  por la siguiente ecuación:

$$NPSH_s = \frac{P_{sb} - P_v}{\rho \cdot g} \quad (2.9)$$



Donde:

NPSH<sub>s</sub>: carga neta de succión positiva del sistema.

P<sub>sb</sub>: presión de la sosa en la succión de la bomba (Pa)

P<sub>v</sub>: presión de vapor de agua a la temperatura de la sosa (Pa) [tabla 16 del Rosabal, 2006]. Para calcular P<sub>sb</sub> se realiza un balance de energía mecánica antes de la bomba según la metodología anteriormente descrita.

### **2.3.2. Evaluación del Intercambiador**

#### **Criterios de Evaluación del Intercambiador de calor:**

- Área efectiva
- Criterios para la adaptabilidad del intercambiador de calor

#### Cálculo del área efectiva del intercambiador:

Para la evaluación de los intercambiadores de calor se utiliza el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión ( $\epsilon$  - NTU) ya que, aunque existen varias metodologías, esta es la más sencilla de aplicar y es una de las más utilizadas (Bergman y Lavine, 2021). Este 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 (Izquierdo, 2001; Tower y Sinnott, 2008). Si el área efectiva del intercambiador es menor o igual al área del intercambiador de calor existente, el mismo satisface los requerimientos técnicos del sistema.

El empleo de ecuaciones empíricas hace necesario el uso de unidades del Sistema Inglés. Todas las temperaturas son tomadas como registros automáticos en el proceso.

#### **Evaluación del Intercambiador de calor**

##### Disposición de los fluidos:

Si bien Kern (1999) propone que el vapor debe fluir por los tubos y no por la coraza, debido a su poder corrosivo y el daño que puede ocasionar en ambas partes, en esta investigación se decide proponer que la sosa caústica fluya por los

tubos ya que es el producto principal del proceso y el más corrosivo de los dos fluidos. Esta disposición facilitará la recuperación de la sosa en la etapa de limpieza y el mantenimiento del equipo.

Fluido caliente: vapor de agua

Fluido frío: Sosa cáustica

Condiciones de proceso requeridas:

Las condiciones de proceso que se requieren son:

Para el fluido caliente:  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $W$ ,  $C$ ,  $s$ ,  $\mu$ ,  $k$ ,  $R_d$ ,  $\Delta P$

Para el fluido frío:  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $w$ ,  $c$ ,  $s$ ,  $\mu$ ,  $k$ ,  $R_d$ ,  $\Delta P$

Donde:

$T_1$ ,  $T_2$ : Temperaturas de entrada y salida del fluido caliente, ( $^{\circ}\text{F}$ )

$t_1$ ,  $t_2$ : Temperaturas de entrada y salida del fluido frío, ( $^{\circ}\text{F}$ )

$W$ : Flujo másico del fluido caliente, (lb/h)

$w$ : Flujo másico del fluido frío, (lb/h)

$C$ : Calor específico del fluido caliente, (Btu/lb. $^{\circ}\text{F}$ )

$c$ : Calor específico del fluido frío, (Btu/lb. $^{\circ}\text{F}$ )

$s$ : Gravedad específica

$\mu$ : Viscosidad del fluido, (lb/pie.h)

$k$ : Conductividad térmica, (Btu/h.pie. $^{\circ}\text{F}$ )

$R_d$ : Factor de obstrucción, (h.pie $^2$ . $^{\circ}\text{F}$ /Btu)

$\Delta P$ : Caída de presión, (lb/plg $^2$ )

- **Datos de diseño del intercambiador de calor existente**

Los datos de diseño del intercambiador de calor que se requieren son:

Para el lado de la coraza: Diámetro interior, Espaciado de los deflectores, Pasos

Para el lado de los tubos: Número y longitud, Diámetro exterior, Arreglo, Pasos.

Para este tipo de intercambiador de tubo y coraza el número de unidades de transmisión (NTU) se calcula por:

$$NTU = -(1 + Cr^2)^{-\frac{1}{2}} \ln \left( \frac{E-1}{E+1} \right) \quad (2.10)$$

Donde:

$C_r$ : Relación de capacidad calórica

$$E = \frac{\frac{2}{\xi} - (1 + Cr)}{(1 + Cr^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (2.11)$$

Cálculo de la eficiencia del intercambiador ( $\xi$ , %):

$$\xi = \frac{Q}{Q_{\max}} \times 100 = \frac{W \cdot Cp_{vapor}(T_1 - T_2)}{C_{\min}(T_1 - t_1)} \times 100 \quad (2.12)$$

$$Q_{\max} = C_{\min}(T_1 - t_1) \quad (2.13)$$

Donde:

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

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

$Q_{ced}$ : Calor cedido por fluido caliente, (kcal/h)

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

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

Según Kern (1999), las pérdidas por radiación de los intercambiadores usualmente son insignificantes comparadas con la carga térmica transferida en el equipo. Considerando despreciables las pérdidas de calor en el intercambiado ( $Q_{ced} = Q_{abs}$ )

$$Q_{ced} = C_h(T_1 - T_2) \quad (2.14)$$

$$Q_{abs} = C_c(t_2 - t_1) \quad (2.15)$$

$$C_c = w \cdot cp_{sosa} \quad (2.16)$$

$$C_h = W \cdot Cp_{vapor} \quad (2.17)$$

Donde:

$C_c$ : Capacidad térmica de la corriente fría ( $kcal/h^{\circ}C$ ) [Tabla 2-90, Perry (2019)]

$C_h$ : Capacidad térmica de la corriente caliente ( $kcal/h^{\circ}C$ ) [Bergman y Lavine (2021), tabla A.4)]

$C_{p_{vapor}}$ : Capacidad calórica del fluido caliente a presión constante- 1atm ( $kcal/kg^{\circ}C$ ) [Bergman y Lavine (2021), tabla A.4)]

$c_{p_{sosa}}$ : Capacidad calórica del fluido frío a presión constante- 1atm ( $kcal/kg^{\circ}C$ ) [Tabla 2-90, Perry (2019)]

✓ Cálculo de la relación de capacidad calorífica ( $C_r$ )

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{máx}} \quad (2.18)$$

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

✓ Cálculo del área efectiva del Intercambiador de calor ( $A$ ,  $m^2$ )

El área efectiva del Intercambiador de calor se calcula a partir de la siguiente expresión [tabla 11.3; Bergman y Lavine, 2021]:

$$NTU = \frac{U_D A}{C_{min}} \quad (2.19)$$

Donde:

$A$ : área efectiva del Intercambiador de calor ( $m^2$ )

$NTU$ : Número de unidades de transmisión

$U_D$ : Coeficiente global de transferencia de calor ( $kcal/hm^2^{\circ}C$ ) [tabla 11.2; Bergman y Lavine (2021)]

Según los resultados del método del número de unidades de transmisión ( $\epsilon - NTU$ ), para que sea factible técnicamente la propuesta, el área del Intercambiador de calor existente en la industria debe ser superior al área de transferencia de calor necesaria para obtener la temperatura deseada.

### Evaluación de la adaptabilidad de un intercambiador de calor existente

Para evaluar la adaptabilidad de intercambiadores de calor existentes para su nuevo uso es necesario comprobar las siguientes condiciones de significación (Kern, 1999):

- El coeficiente total limpio de transferencia de calor ( $U_c$ ) debe exceder al coeficiente total de diseño ( $U_D$ ), de manera que el factor de obstrucción, que es una medida del exceso de superficie, permita la correcta operación del calentador por un periodo de servicio razonable.
- La caída de presión calculada no debe exceder la caída de presión permitida para las dos corrientes.

A continuación se describe la metodología de cálculo para evaluar estas condiciones

- Determinación de la diferencia verdadera de temperatura

La diferencia verdadera de temperatura entre las dos corrientes puede ser calculada a partir de ecuación siguiente:

$$\Delta t = LMID F_T \quad (2.20)$$

Donde:

$\Delta t$ : Diferencia verdadera de temperatura entre las dos corrientes, (°F).

LMTD: Media logarítmica de la diferencia de temperatura, (°F).

$F_T$ : Factor de diferencia de temperatura, (adimensional).

De acuerdo a lo planteado por Kern (1999), para flujos a contracorriente  $F_T$  es aproximadamente igual a la unidad, de ahí que:

$$\Delta t = LMID \quad (2.21)$$

La media logarítmica de la diferencia de temperatura puede ser calculada como:

$$LMID = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} \quad (2.22)$$

- **Cálculos para el lado de los tubos (sosa caústica)**

Determinación del área de flujo:

El área de flujo para el lado de los tubos se determina mediante la expresión:

$$a_t = \frac{N_t \cdot a_t'}{144n} \quad (2.23)$$

Donde:

$a_t$ : Área de flujo, (pie<sup>2</sup>)

$a_t'$ : Área de flujo por el tubo, (plg<sup>2</sup>) [Tabla 10 de Kern (1999)]

$N_t$ : Número de tubos

$n$ : Número de pasos en los tubos

Cálculo de la velocidad másica:

La velocidad másica de la sosa queda expresada como:

$$G_t = \frac{w}{a_t} \quad (2.24)$$

Donde:

$G_t$ : Velocidad másica de la sosa en los tubos, (lb/h.pie<sup>2</sup>)

$w$ : Flujo másico de la sosa, (lb/h)

Cálculo del número de Reynolds

Una vez determinado el diámetro interior de los tubos y la velocidad másica de la sosa, el número de Reynolds para el lado de los tubos queda expresado de la siguiente forma:

$$Re_t = \frac{DG_t}{\mu} \quad (2.25)$$

Donde:

$D$ : Diámetro interior del tubo, (pie) [tabla 10 Kern, 1999]

$G_t$ : Velocidad másica de la sosa en los tubos, (lb/hpie<sup>2</sup>)

$\mu$ : Viscosidad de la sosa a  $t_c$ , (lb/pie.h) [Fig 14, Kern (1999)]

$t_c$ : Temperatura promedio de la sosa, ( $^{\circ}$ F)

La viscosidad de la sosa a  $t_c$  puede ser determinada en [Fig 14, Kern (1999)]

$$h_{io} = h_i \frac{D_I}{D_E} \Phi_t \quad (2.26)$$

Donde:

$D_I$ : diámetro interior de los tubos (ft)

$D_E$ : diámetro exterior de los tubos (ft)

$\Phi_t$  = relación de viscosidad en los tubos,  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$

$\mu$ : Viscosidad de la sosa a  $t_c$ , (lb/pie.h) [Fig 14, Kern (1999)]

$\mu_w$ : Viscosidad de la sosa a la temperatura  $t_w$ , (lb/pie.h) [fig 14, Kern (1999)]

#### Determinación del coeficiente de transferencia de calor

La relación entre la razón de viscosidad y el coeficiente de transferencia de calor de la sosa interior ( $h_i$ ) queda expresada de la forma siguiente:

$$h_i = j_H \cdot \frac{k}{D_e} \cdot \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \Phi_t \quad (2.27)$$

Donde:

$h_i$ : Coeficiente de transferencia de calor de la sosa interior, (Btu/h.pie<sup>2</sup>. $^{\circ}$ F)

$\Phi_t$ : Razón de viscosidad en el lado de los tubos, (adimensional)

$j_H$ : Factor de transferencia de calor, (adimensional) [Fig 24 Kern, 1999]

$D_e$ : Diámetro equivalente, (pie)

$\mu$ : Viscosidad de la sosa a  $t_c$  (lb/pie.h) [Fig 14, Kern (1999)]

$k$ : Conductividad térmica de la sosa a  $t_c$  (Btu/h.pie. $^{\circ}$ F) [KG (2015)]

$c$ : Calor específico de la sosa, (Btu/lb. $^{\circ}$ F) [Tabla 2-90, Perry (2019)]

- **Cálculos para el lado de la coraza (vapor)**

Determinación del área de flujo

El área de flujo para el lado de la coraza se determina mediante la expresión:

$$a_s = \frac{DI \cdot C \cdot B}{144 \cdot P_T} \quad (2.28)$$

Donde:

$a_s$ : Área de flujo, (pie<sup>2</sup>)

$DI$ : Diámetro interior de la coraza, (plg)

$C$ : Sección libre entre tubos, (plg)

$B$ : Espaciado de los deflectores, (plg)

$P_T$ : Espaciado entre tubos, (plg)

$$P_T = C + d_o \quad (2.29)$$

Donde  $d_o$ : Diámetro exterior de los tubos, (plg)

Cálculo de la velocidad másica

Conociendo el flujo másico del vapor ( $W$ ), el cual corresponde al valor de  $q_s$  en el sistema de flujo y el área de flujo para el lado de la coraza ( $a_s$ ), la velocidad másica del vapor ( $G_s$ ) queda expresada según la ecuación 2.24:

$$G_s = \frac{W}{a_s} \quad (2.30)$$

Determinación del diámetro equivalente

El diámetro equivalente para el lado de la coraza puede determinarse en función del tipo de arreglo dispuesto en el cabezal de los tubos. Los diámetros equivalentes para los arreglos comunes se incluyen en la figura 28 de Kern (1999), y pueden ser determinados en dicha figura a partir del diámetro exterior de los tubos ( $d_o$ ) y del espaciado entre tubos ( $P_T$ ).



### Cálculo del número de Reynolds

Una vez calculado el diámetro equivalente en pie ( $D_e$ ) y la velocidad másica del vapor ( $G_s$ ), el número de Reynolds para el lado de la coraza queda expresado según la ecuación 2.25.

$$Re_s = \frac{D_e \cdot G_s}{\mu} \quad (2.31)$$

Siendo  $\mu$  la viscosidad del vapor a  $T_c$ , la cual puede determinarse en [tabla A.4, Bergman y Lavine (2021)]

$T_c$ : Temperatura promedio del vapor, (°F)

### Determinación del factor de transferencia de calor

El factor de transferencia de calor ( $j_H$ ) puede ser determinado a partir del número de Reynolds ( $Re_s$ ) en la figura 28 de Kern (1999).

### Determinación del coeficiente de transferencia de calor

La relación entre la razón de viscosidad y el coeficiente de transferencia de calor de la sosa exterior ( $h_o$ ) queda expresada de la forma siguiente:

$$h_o = j_H \cdot \frac{k}{D_e} \cdot \left(\frac{c\mu}{k}\right)^{1/3} \cdot \phi_s \quad (2.32)$$

Donde:

$h_o$ : Coeficiente de transferencia de calor del vapor, (Btu/h.pie<sup>2</sup>.°F)

$\mu$ : Viscosidad del vapor a  $T_c$ , (lb/pie.h)

$k$ : Conductividad térmica del vapor a  $T_c$ , (Btu/h.pie.°F)

$c$ : Calor específico del vapor, (Btu/lb.°F)

$\phi_s$ : Razón de viscosidad en la coraza, (adimensional)  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$

$\mu$ : Viscosidad del vapor a  $T_c$ , (lb/pie.h)

$\mu_w$ : Viscosidad del vapor a la temperatura  $t_w$ , (lb/pie.h)

Las propiedades del vapor ( $\mu$ ,  $c$ ,  $k$ ) se obtienen en Bergman y Lavine (2021), Tabla A.4

#### Determinación de la temperatura de la pared del tubo

Es importante porque permite verificar si el material del tubo es apropiado para el proceso y además, se requiere para el diseño térmico cuando las propiedades de transporte de los fluidos varían a lo largo del intercambiador.

La temperatura de la pared del tubo puede ser calculada como:

$$t_w = t_c + \frac{h_{i0}}{h_{i0} + h_o} (T_c - t_c) \quad (2.33)$$

Donde:

$t_w$ : Temperatura de la pared del tubo, (°F)

$h_o$ : Coeficiente de transferencia de calor del fluido referido al diámetro exterior del tubo, (Btu/h.pie<sup>2</sup>.°F)

Se evalúa la viscosidad a la temperatura de la pared ( $t_w$ ) y se corrige el valor de los coeficientes individuales de transferencia de calor

- **Determinación del coeficiente total limpio de transferencia de calor**

El coeficiente total limpio de transferencia de calor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$U_C = \frac{h_o h_b}{h_o + h_b} \quad (2.34)$$

Donde:

$U_C$ : Coeficiente total limpio de transferencia de calor, (Btu/h.pie<sup>2</sup>.°F)

- **Determinación del coeficiente total de diseño de transferencia de calor**

El coeficiente total de diseño de transferencia de calor se determina mediante la expresión:

$$U_D = \frac{Q}{A L M T D} \quad (2.35)$$

Donde:

$U_D$ : Coeficiente total de diseño de transferencia de calor, (Btu/h.pie<sup>2</sup>.°F)

$Q$ : Calor absorbido por la sosa o cedido por el vapor, (Btu/h)

$A$ : Área de transferencia de calor, (pie<sup>2</sup>)

El área de transferencia de calor está dada por:

$$A = a'' \cdot L N_t \quad (2.36)$$

Donde:

$L$ : Longitud de los tubos, (pie)

$a''$ : Superficie externa por pie lineal, (pie)

La superficie externa por pie lineal puede ser determinada en la Tabla 10 de Kern (1999).

- **Determinación del factor de obstrucción**

La expresión para el cálculo del factor de obstrucción es la que sigue:

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \cdot U_D} \quad (2.37)$$

Donde:

$R_d$ : Factor de obstrucción, (h.pie<sup>2</sup>.°F/Btu)

El factor de obstrucción requerido ( $R_{d_{req}}$ ) puede ser determinado en la Tabla 12 de Kern (1999).

Si el factor de obstrucción calculado iguala o excede al factor de obstrucción requerido ( $R_{d_{calc}} > R_{d_{req}}$ ), el intercambiador seleccionado es apropiado. De cumplirse esta condición se continúa con el cálculo de la caída de presión. Después de ciertos períodos operacionales debe definirse el tiempo perfecto para realizar su limpieza mecánica, ya que a partir de entonces no transfiere una cantidad de calor requerida por el proceso.

- **Determinación de la caída de presión para el lado de los tubos**

La caída de presión para el lado de los tubos se determina como:

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \quad (2.38)$$

Donde:

$\Delta P_T$ : Caída de presión para el lado de los tubos, (lb/plg<sup>2</sup>)

$\Delta P_t$ : Caída de presión en los tubos, (lb/plg<sup>2</sup>)

$\Delta P_r$ : Caída de presión de retorno o pérdida de regreso, (lb/plg<sup>2</sup>)

La caída de presión en los tubos viene dada por la expresión:

$$\Delta P_t = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \phi_t} \quad (2.39)$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción para el lado de los tubos, (pie<sup>2</sup>/plg<sup>2</sup>) [fig 26 Kern, 1999]

$s$ : gravedad específica de la sosa (adimensional)  $\left(\frac{\rho_{sosa}}{\rho_{agua}}\right)$

$\phi_t$ : Razón de viscosidad en los tubos, (adimensional)  $\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14}$

De acuerdo a lo planteado por Kern (1999), al fluir de un paso al otro, pasando por el carrete y el cabezal flotante, el fluido cambia de dirección bruscamente. Este cambio de dirección introduce una caída de presión adicional llamada caída de presión de retorno o pérdida de regreso, y se consideran cuatro cabezas de velocidad por paso como pérdida.

La caída de presión de retorno viene dada por la ecuación:

$$\Delta P_r = \frac{4n}{s} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (2.40)$$

Donde:

$V$ : Velocidad, (pie/s)

La cabeza velocidad  $V^2/2g$  se encuentra graficada contra la velocidad másica en la [figura 27 del Kern (1999)].

Según Kern (1999) es costumbre permitir una caída de presión de 5 a 10 lb/plg<sup>2</sup> para un intercambiador o batería de intercambiadores que desempeñen un mismo servicio en un proceso.

- **Determinación de la caída de presión para el lado de la coraza**

La caída de presión a través de la coraza de un intercambiador, según lo planteado por Kern (1999), es proporcional al número de veces que el fluido cruza el haz entre los deflectores. También es proporcional a la distancia a través del haz, cada vez que lo cruza.

La ecuación isotérmica para la caída de presión en la coraza, para fluidos que se calientan o enfrían, y que incluye las pérdidas de entrada y salida es:

$$\Delta P_s = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot s \cdot \phi_s} \quad (2.41)$$

Donde:

$f$ : Factor de fricción para el lado de la coraza, (pie<sup>2</sup>/plg<sup>2</sup>) [fig. 29 Kern, 1999]

$N+1$ : Número de cruces

$D_s$ : Diámetro interior de la coraza, (pie)

$s$ : gravedad específica del vapor (adimensional)  $\left(\frac{\rho_{sosa}}{\rho_{agua}}\right)$

El número de veces que el haz se cruza ( $N+1$ ) se determina a partir de la expresión siguiente:

$$N+1 = 12 \frac{L}{B} \quad (2.42)$$

Donde

$N$ : Número de deflectores.

Las correlaciones graficadas para obtener el factor de fricción  $f$  para el lado de la coraza, aparecen en la figura 29 de Kern (1999).

## **2.4. Beneficios económicos de la propuesta**

En los tanques de sosa se considera:

$T_f$ : Temperatura promedio de la sosa cáustica ( $^{\circ}\text{C}$ ) [67,5  $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_i$ : Temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) [30  $^{\circ}\text{C}$ ]

En el intercambiador se tiene en cuenta que:

$T_f$ : Temperatura de la sosa cáustica a la salida del intercambiador de calor ( $^{\circ}\text{C}$ ) [85  $^{\circ}\text{C}$ ]

$T_i$ : Temperatura de la sosa cáustica a la entrada del intercambiador de calor ( $^{\circ}\text{C}$ ) [50  $^{\circ}\text{C}$ ]

Para los cálculos en el año/campaña se considera que una campaña regular tiene una duración de 250 días y la limpieza tecnológica se realiza dos veces al día.

### **2.4.1. Cálculo del ahorro del consumo de vapor**

En las condiciones actuales para que se garantice la limpieza tecnológica es necesario que se alcance una temperatura óptima a la salida de los tanques de preparación entre 70  $^{\circ}\text{C}$  y 80  $^{\circ}\text{C}$ . Con la propuesta se prevé que la temperatura a la salida de los tanques sea solo de 50  $^{\circ}\text{C}$ , logrando aumentar la temperatura hasta valores de 80  $^{\circ}\text{C}$  en el intercambiador de calor a instalar en el nuevo sistema. El consumo de vapor ahorrado corresponde a la diferencia de los vapores consumidos de la estación actual con respecto al del sistema de limpieza propuesto.

#### Consumo de vapor de la estación de limpieza tecnológica actual

En la estación de preparación de sosa se hace imprescindible conocer el suministro de vapor a los tanques de preparación, ya que se necesita aumentarle la temperatura a la solución sódica para su posterior uso en la limpieza tecnológica.

La masa de vapor necesaria para calentar la sosa hasta la temperatura promedio en los tres tanques actualmente instalados se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$m_{v-TNK} = \frac{Q_{absTNK}}{H_v} \quad (2.43)$$

Donde:

$Q_{absTNK}$ : Calor absorbido en los tanques de sosa (estación actual) [kcal]

$m_{v-TNK}$ : masa de vapor (kg)

$H_v$ : Entalpía de vaporización [Keenan, 1978]

El calor absorbido por la disolución se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$Q_{absTNK} = m_s \cdot Cp \cdot (T_f - T_i) \quad (2.44)$$

Donde:

$Q_{absTNK}$ : Calor absorbido por la sosa en los tanques (kcal)

$m_s$ : masa de sosa a calentar (kg) [Departamento de tecnología, 2015]

$Cp$ : Calor específico de la sosa caústica al 2,5% en peso (kJ/kg°C) [Tabla 2-90, Perry (2019)]

#### Consumo de vapor de la estación de limpieza tecnológica modificada

La masa de vapor necesaria para calentar la sosa hasta la temperatura de salida en el intercambiador ( $m_{vI}$ ) propuesto se determina por el procedimiento anteriormente descrito (ec 2.43)

El vapor total consumido ( $m_{vT}$ ) para la propuesta es la suma del consumo del vapor en los tanques y en el intercambiador.

$$m_{vT} = m_{vTNK} + m_{vI} \quad (2.45)$$

#### Consumo de vapor ahorrado

El consumo de vapor ahorrado ( $m_{vA}$ ) se calcula como la diferencia del consumo de vapor de la estación de limpieza actual y la modificación tecnológica propuesta:

$$m_{vA} = m_{vTNK} - m_{vT} \quad (2.46)$$

### 2.4.2. Cálculo del ahorro de consumo de combustible

El combustible consumido ( $m_c$ ) para la generación de vapor se determina a partir del despeje de la ecuación siguiente:

$$\eta_{cal} = \frac{m_v \cdot (H_f - H_i)}{m_c \cdot (VCS + Q_{fis})} \quad (2.47)$$

Donde:

$\eta_{cal}$ : Eficiencia de la caldera (76%) [Valtec- Umisa, 2001].

$m_c$ : Masa de combustible consumido (kg) [Departamento de tecnología, 2015]

$H_f$ : Entalpía del líquido saturado final (kcal/kg) [Keenan, 1978. Tabla 1 a la temperatura de entrada]

$H_i$ : Entalpía del líquido saturado inicial (kcal/kg) [Keenan, 1978. Tabla 1 a la temperatura de salida]

$Q_{fis}$ : Calor físico final (kcal). [Departamento de economía, 2019]

VCS: Valor calórico superior final (kcal/kg). [Departamento de economía, 2019]

De forma análoga al consumo de vapor, la masa de combustible consumido en la propuesta ( $m_{cT}$ ) incluye la suma del combustible consumido en los tanques ( $m_{cTNK}$ ) y en el intercambiador de calor ( $m_{cl}$ ).

$$m_{cT} = m_{cTNK} + m_{cl} \quad (2.48)$$

El ahorro estimado de combustible ( $m_{cA}$ ) no es más que la diferencia de consumo en la estación de limpieza actual ( $m_{cTNK}$ ) y la propuesta ( $m_{cT}$ ).

$$m_{cA} = m_{cTNK} - m_{cT} \quad (2.49)$$

### 2.4.3. Cálculo de ahorro de agua

Si se considera que el vapor consumido en la estación de limpieza ( $m_{vT}$ ) equivale a la misma cantidad consumida de agua suave ( $m_{AS}$ ) en el equipo de generación de vapor, el ahorro de agua suave se puede calcular a partir de la masa de vapor ahorrada por la estación propuesta:

$$m_{AS} = m_{vT} \quad (2.50)$$



El volumen de agua suave ahorrado ( $V_{AS}$ ) se determina a partir de conocer la densidad del agua a la temperatura de operación (Departamento de tecnología, 2015) según:

$$V_{AS} = \frac{m_{AS}}{\rho_{AS}} \quad (2.51)$$

Donde:

$\rho_{AS}$  - densidad del agua a temperatura promedio ( kg/ m<sup>3</sup>) [Rosabal (2006). Tabla 5]

## 2.5. Evaluación económica y ambiental de la propuesta

### 2.5.1. Valoración económica

El beneficio económico que representa para la Empresa y el país la solución propuesta viene expresado por la suma de los costos de todos los ahorros involucrados (combustible y agua).

Costos de recursos ahorrados:

$$C_a = m \cdot pup \quad (2.52)$$

Donde:

$C_a$ : costo de agua y combustible (\$)

$m$ : masa de agua ( $m_{AS}$ ), combustible ( $m_{cA}$ ) [kg]

$pup$ : precio unitario del agua y del combustible (\$) [fichas de costo-Departamento de Economía, 2019]

Otro criterio para la evaluación económica de este proyecto es el cálculo del plazo de recuperación de la inversión (PRI).

$$PRI = \frac{Inversión}{Ganancia} \quad (2.53)$$

### Ganancia (G)

$$G = VP - CP \quad (2.54)$$

Donde:

CP - costo de la producción (\$/a)

VP - valor de la producción (\$/a)

El costo de la producción (CP) está constituido por los costos fijos (CF) y costos variables (CV).

$$CP = CF + CV \quad (2.55)$$

Donde:

CF- costos fijos (\$/a)

CV – costos variables (\$/a)

El valor de la producción (VP) depende del volumen de la producción (N) y el precio unitario del producto (pup):

$$VP = N \cdot pup \quad (2.56)$$

N - volumen de producción (t/a)

pup - precio unitario del producto (\$/t)

Todos los costos involucrados, el volumen de producción y los precios unitarios del producto aparecen reflejados en el documento de trabajo de las Fichas de costos de la Empresa (Departamento de economía, 2019).

### **Inversión (I)**

$$I = C_{IC} + \sum C_{tub} + \sum C_{acc} + \sum C_{inst} \quad (2.57)$$

$C_{IC}$  - Costo del Intercambiador de calor a instalar (\$)

$C_{tub}$ - Costo de las tuberías del sistema de fujo (\$)

$C_{acc}$ – Costo de los accesorios del sistema de fujo (\$)

$C_{inst}$ – Costo de los instrumentos de medición del sistema de fujo (\$)

Los costos de los recursos necesarios para llevar a cabo la inversión de la solución propuesta se ajustan a los precios en el mercado de accesorios, tuberías e instrumentos según ofertas recibidas de los proveedores.

### 2.5.2. Valoración ambiental

Se analizan los beneficios que genera para el medio ambiente la opción planteada. Mediante la modificación de la estación de limpieza, se hace posible disminuir el consumo de combustible, trayendo consigo una reducción de emisiones de gases de combustión indeseables a la atmósfera.

Para estimar la reducción de emisiones (E) de gases a la atmósfera producidos por la generación de vapor en calderas se tienen en cuenta la ecuación siguiente:

$$E = M_{cA} \cdot f_{em} \quad (2.58)$$

Donde:

E: Reducción de Emisiones (kg)

$f_{em}$ : factor de emisiones de cada contaminante (kg/L)

$M_{cA}$ : volumen de combustible ahorrado (L)

$$M_{cA} = \frac{m_{cA}}{\rho_c} \quad (2.59)$$

Donde:

$\rho_c$  - densidad del combustible a temperatura promedio en el proceso de generación de vapor (kg/ m<sup>3</sup>) [Perry, 2019]

Conocido el ahorro de combustible (ec 2.49) con la propuesta de modificación de la estación de limpieza tecnológica se calculan la reducción de emisiones para cada gas contaminante, con el objetivo de confirmar el impacto ambiental positivo que trae consigo la propuesta.

Los valores de factor de emisión ( $f_{em}$ ) para cada uno de los gases aparecen reflejados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Factor de emisión de contaminantes

<b>Contaminantes</b>	<b>Factor de emisión g/kWh</b>	<b>Factor de emisión g/L</b>
NOx	3,41	8
SO <sub>2</sub>	0,0984	0,399
CO <sub>2</sub>	0,23	0,6
CO	799	2986
HC	0,083	0,12

Fuente: EPA (2021)

## CONCLUSIONES

Una vez finalizada la investigación, la cual ha estado dirigida fundamentalmente a la modificación tecnológica de la estación de limpieza en el proceso productivo de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, a criterio de la autora se deben destacar las siguientes conclusiones teóricas y prácticas:

1. La modificación de la estación de limpieza tecnológica como propuesta permite solventar el problema científico y dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la investigación.
2. La bomba a utilizar para el trasiego de sosa cáustica hasta los equipos tecnológicos y el intercambiador de calor propuesto en la modificación deberán cumplir con los parámetros técnicos de diseño para garantizar una limpieza efectiva en los nuevos procesos.
3. La evaluación energética en el proceso permitirá evaluar los ahorros en los materiales auxiliares (agua, combustible) para demostrar que es factible la nueva modificación.
4. Los estudios realizados de los indicadores económicos permitirá valorar si la inversión que se propone es factible para la Empresa.
5. La modificación debe representar un descenso de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera y de explotación del manto freático, representando esto un impacto ambiental positivo.

## **RECOMENDACIONES**

1. Mostrar el diagrama modificado a los tomadores de decisión de la Empresa UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” (Directivos y Consejo Técnico Asesor) y evaluar su posible puesta en marcha para futuros proyectos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alderete, J. M.; Clause, J.; Feldman, P.; Ferrario, R.; Gulielmetti, B.; Melero, M.; Nonzioli, A.; Novas, A.; Santín, C.; Teisaire, C. (2015). Sistemas de gestión de calidad en el sector agroalimentario. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, pp 33. Disponible en el URL:
- Barajas, Alberto. A. (2005). Seminario de eficiencia energética en la industria: “Experiencias de proyectos de ahorro de energía y cogeneración”. [Consulta enero 2014]. Disponible en: <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/2980/1/images/h&palbertoalvarez.pdf>.
- Bergman, T. L., y Lavine, A. S. (2021). *Incropera's fundamentals of heat and mass transfer* (9th ed.). John Wiley & Sons.
- Bermúdez Ramos, G., Delgado Rivero, C. M., & González De la Paz, A. (2014). Gestión de información de portadores energéticos y producciones en el sector industrial. Universidad y Sociedad. Disponible en <http://rus.ucf.edu.cu>
- Camaraza, Y. (2020). Introducción a la Termotransferencia. 2da edición. Ed. Universitaria, La Habana
- Çengel, Yunus A. (2007). Transferencia de calor y masa. Un Enfoque Práctico.
- Cuellar, J. A. C. (2016). Intercambiadores de Calor. UIS Málaga.
- Davis M., Cornwell D. (1991). *“Introduction to Environmental Engineering”*. 2ªed. McGraw Hill International Editions, Singapore.
- Decreto Ley 9/2020 “Inocuidad Alimentaria” (GOC-2020-675-O76). CONSEJO DE MINISTROS. Decreto 18/2020 Reglamento del Decreto-Ley Inocuidad Alimentaria (GOC-2020-676-O76)
- Departamento de economía. (2019). Fichas de costo de la Empresa. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.

- Departamento de tecnología (2015). Descripción del proceso productivo de la Empresa de UEB combinado industrial Héroes de Girón. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
- EPA (2021). AP-42: Compilation of Air Emissions Factors. Volume I, session 1.3. [online]. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>. Consulta: 22 nov 2021
- Estrada Tenaz, Blanca. L (2007). "Análisis técnico-económico de sistemas de limpieza para líneas de producción en la industria de alimentos". Guatemala. Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Argentina.
- Fan, M., Phinney, D. M. y Heldman, S. R. (2018). The impact of clean-in-place parameters on rinse water effectiveness and efficiency. *Journal of Food Engineering*, 222.
- Gomez, C. A. (2019). *Evaluación del sistema de limpieza y desinfección de la Empresa Productos de Antaño S.A.* Bogota D.C. [http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/publicaciones/calidad/BPM/Gestion\\_Calidad\\_Agroalimentario\\_2013.pdf](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/publicaciones/calidad/BPM/Gestion_Calidad_Agroalimentario_2013.pdf). Fecha de consulta: 12/05/21.
- Holman, J. P. (2002). *Transferencia de calor* (8.<sup>a</sup> ed.). Mc Graw Hill.
- Izquierdo, M. M. (2001). *Ingeniería térmica y de fluidos: Intercambiadores de calor* (1st ed.). Leganés.
- Jaramillo Echeverry C. A, Flórez Yepes.G. Y (2007). Evaluación ambiental y económica de la implementación de estrategias de producción más limpia de una planta descafeinadora del municipio de Manizales.
- Kastenhuber H. (1991). "*Physical factors influencing the activity of antimicrobial agents*". In *Disinfection, sterilization, and preservation*, 4a edición (S.S. Block, edit.). Lea &Febiger, Filadelfia & Londres, 59-72.
- Keenan, Joseph H (1978). *Steam tables, Thermodynamic properties of water, including vapor, liquid, and solid phases*. Editorial SI Units.

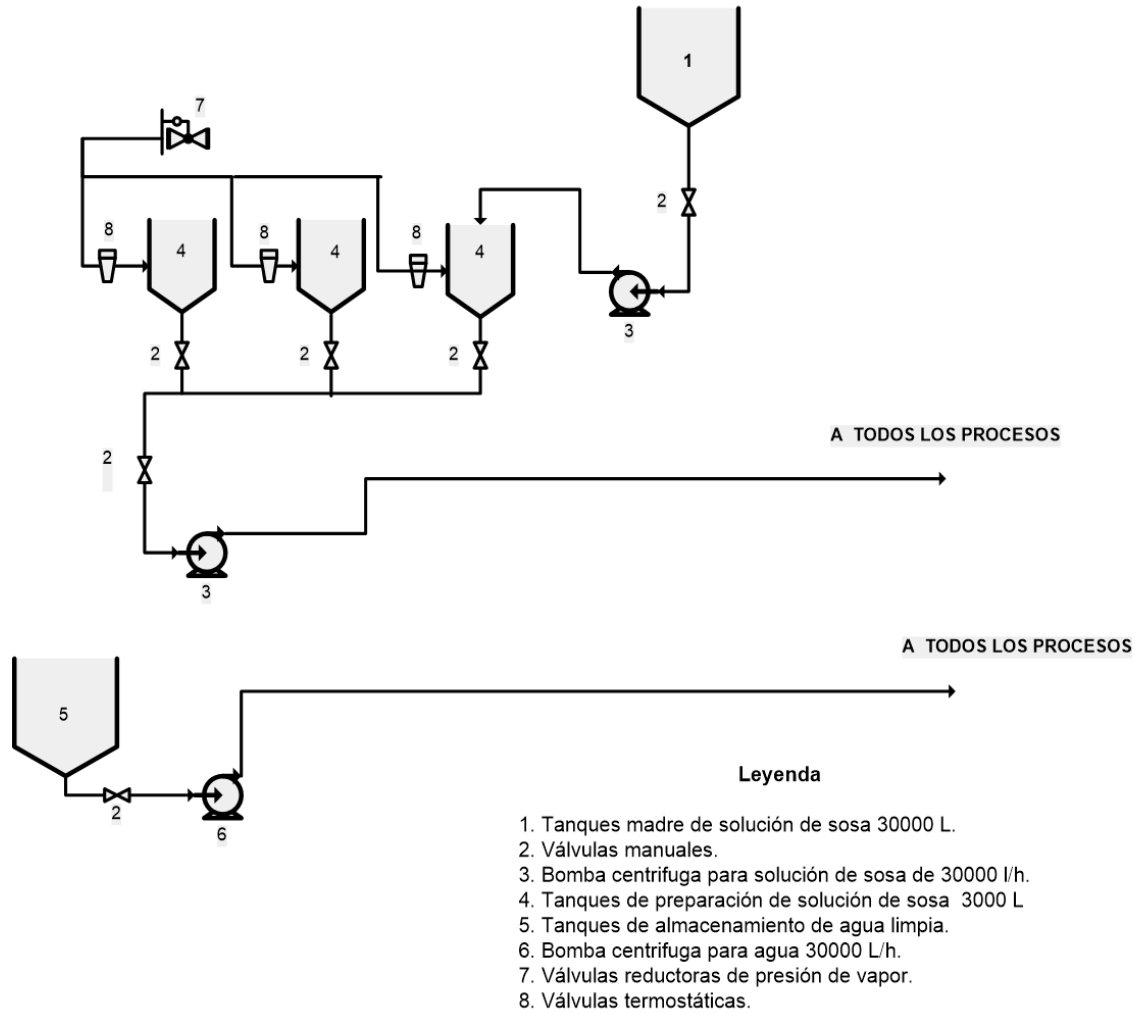


- Kern, Donald Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. Editorial Continental S.A. México.
- KG, C. R. (2015). Ficha de datos de seguridad, conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2015/830/UE, Hidróxido de sodio  $\geq 99\%$ , España.
- Klaxen (2020). *Sistemas ecológicos de limpieza*. Sistemas de limpieza en sitio Cleaning in Place (CIP). Colombia. Disponible en el URL <https://klaxen.com/sistemas-de-limpieza-en-sitio-cleaning-in-place-cip/>. Fecha de consulta: 12/05/21.
- Kunkel, S. T., Teumer, P., Dörnhöfer, K., Schlachter, Y., Weldeslasie, M., Kühr, M., Rädle, J-U. Repke, (2018). Determination of heat transfer coefficients in direct contact latent heat storage systems. *Applied Thermal Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.09.015>
- Maciel, P.A (2017). Desarrollo de un plan de limpieza y desinfección para una fábrica de helados. Tesis de la Carrera de Licenciatura en Tecnología de los Alimentos, presentada como parte de los requisitos para optar al título de grado de Licenciado. Universidad de Ciencias Veterinarias-UNCPBA.
- Perkins H.C. (1974). "Air Pollution", McGraw Hill Book Co, New York.
- Perry, R. H and Green, D (2019). *Chemical Engineers Handbook*. Part one. Ninth Edition. McGraw - Hill Company
- Pichs Madruga, Ramón (2009). Dimensión social de la integración en América Latina y el Caribe. Disponible en: <https://scholar.google.com/cu/scholar?q=pichs+madruga+revolucion+energética>
- Pozuelo, P (2017). [La limpieza y desinfección en la industria de bebidas: Los CIPs y el uso del peróxido-peracético](#). Blog Betelgeux.
- Prévez, L. (2007). *Manual De Producción Más Limpia para el Sector Industrial Citrícola*. Cuba: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) Red Nacional de Producción Más Limpia de Cuba (RNPML) Instituto para Investigación de la Fruticultura Tropical (IIFT), .

- Rosabal, J.M. (2006). Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Ciudad de la Habana. Editorial Félix Varela. 2da edición.
- S.A, L. (2020). *Procedimiento de limpieza y desinfección*. Obtenido de [www.litoprint.com.co](http://www.litoprint.com.co).
- Serrano Méndez, Juana. (2006). "Protección Ambiental y Producción Más Limpia". Curso de Universidad para todos. Editorial Academia.
- Suarez Tamayo, S. (2014). El desarrollo industrial y su impacto en el medio ambiente. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología, Cuba.
- Torrecilla González, Omar. (2021) "Limpieza en la industria láctea". Alimentos Rio Zaza S.A. Cuba. Disponible en: [www.engormix.com](http://www.engormix.com)
- Tower, G. y Sinnott, R. (2008). Chemical Engineering Desing. Principles Practice and Economics of Plant and Process Desing. Butterworth-Heinemann.
- Valtec- Umisa. (2001). Manual de instrucciones, uso y mantenimiento del generador de vapor. Modelo UMISA SMS'40(15) y resto de equipos instalados. NT1633.
- Valverde, A. (2005). "Mejoramiento del sistema de distribución de vapor, para el proceso de secado usado en la planta". Profilac. S.A. Scientia et Technica. [Consulta mayo 2021]. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/1504093-96.pdf.01221701>.

## ANEXOS

**Anexo 1.** Diagrama de flujo de las líneas de sosa cáustica y agua en la Estación de limpieza



**Anexo 2.** Efecto de la temperatura de la solución de limpieza básica con respecto a la eficiencia del ciclo.

