

UNIVERSIDAD DE MATANZAS
“CAMILO CIENFUEGOS”
FACULTAD DE INGENIERÍAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



Evaluación de una propuesta de Producción Más Limpia en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Giron” de Jagüey Grande.

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE
INGENIERO QUÍMICO**

Autor: Yaniris Cabrera Díaz

Tutor: Ing. Luis Alberto Olivera Díaz

Matanzas, Julio del 2014.

Declaración de autoridad

Yo **Yaniris Cabrera Díaz** declaro ser la única autora de este trabajo de diploma y autorizo al departamento de Química e Ingeniería Química de la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y a la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, a darle el uso que consideren necesario al mismo.

Yaniris Cabrera Díaz

Autora

Página de aceptación

Nota de aceptación:

Institución

Nombre del presidente del tribunal

Firma

Evaluación

Fecha

Pensamiento

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el
vapor,
La electricidad
y la energía atómica:
La voluntad.*

Albert Einstein



Dedicatoria

*A mi madre,
A mi adorable abuelo,
A la gordis de mi hermana,
A mi novio,
Y a mí...*

Agradecimientos

Agradecer a mi madre por confiar en mí, por dedicarse día a día a sus hijas y estar siempre ahí. Por darme en la vida cuanto necesité.

A mi abuelito por su exigencia, apoyo y por enseñarme a vivir de la mejor manera, por inculcarme valores y darme cada día una razón para vivir.

A mi hermana por ser mi ejemplo, por demostrarme que si puedo y por ser mi complemento.

A los amigos viejos que confiaron en mí y a los nuevos por ayudarme a seguir.

A Lisandra Pérez Borroto por cada hora de estudio que me dedicó, por ser de todos la mejor, por ser mi amiga y por su preocupación.

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 novio Edel por apoyarme, por hacerme el camino más fácil, por su compañía y comprensión.

... y muchas gracias a todas aquellas personas que de una forma u otra han colaborado con la realización de este sueño de formarme como ingeniera química.

A todos, muchísimas gracias.

Resumen

Este proyecto de investigación se realiza en la empresa de cítricos Héroes de Girón de Jagüey Grande, tiene como objetivo evaluar la modificación de la estación de limpieza tecnológica en el proceso productivo de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón de Jagüey Grande como propuesta de PML. En el proyecto se describe el diseño preliminar modificado de dicha estación. Se realizan cálculos de mecánica de fluido para la evaluación de una bomba a emplear en el trasiego de sosa cáustica hasta los equipos tecnológicos. Se efectúan cálculos para determinar los consumos de vapor, agua y sosa cáustica así como los ahorros de dichos insumos que representa la modificación de la estación. Esta innovación representa beneficios económicos para la empresa y el país, fundamentalmente por la disminución de los costos por concepto de ahorro de *fuel-oil*, agua y sosa cáustica, obteniéndose un ahorro en valores de 66461,08\$/campaña, además constituye un impacto ambiental positivo porque se reducen las emisiones de gases de combustión que afectan a la atmósfera.

Summary

This research project is developed in the Citric processing Plant “Heroes of Girón” of the municipality of Jagüey Grande. It is aimed to evaluate the modification of the Cleaning in Place station (CIP) as a proposal for cleaner production process. The Project describes the preliminary modified design of the CIP. Calculations of mechanics of flows are also presented to evaluate the adequate pump to be used to carry the soda to the technological equipments. There are also calculations related to the consumption of steam, water and soda, as well as the decrease of these elements due to the modification of the station. This innovation brings about economic benefits for the entity, the enterprise and the country, based on costs decrease of fuel-oil, soft water and soda, which represents \$66461, 08 per campaign. It also contributes to a positive environmental impact because of the reduction of combustion gases emission to the atmosphere.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Análisis bibliográfico	3
1.1. Limpieza tecnológica.....	3
1.1.1. Principios Generales.....	3
1.1.2. Aplicación de limpieza química según características tecnológicas.....	4
1.1.3. Proceso de CIP/COP.....	4
1.1.4. Detergentes a utilizar.....	6
1.1.4.1 Sosa cáustica.....	7
1.1.5. Procedimiento actual para la preparación de la sosa en la institución.....	9
1.1.6. Evaluaciones de las soluciones de limpieza.....	10
1.2. Producción Más Limpia.....	11
1.2.1. Aplicación de la Producción Más Limpia en Cuba.	12
1.2.2. Factores a considerar en la Implementación de las prácticas de producción más limpias en Cuba.....	13
1.2.3. Beneficios de la producción más limpia.....	14
1.2.4. La producción más limpia en el sector industrial citrícola.....	15
1.3. Portadores energéticos en la industria.....	16
1.3.1. Intercambiadores de calor a placas.....	17
1.4. Impacto ambiental a nivel industrial.....	17
1.4.1. La evaluación del impacto ambiental (EIA)	18
1.4.2. Principales problemas ambientales de la industria procesadora de cítrico en Cuba.....	19
Conclusiones Parciales.....	22
Capítulo 2: Materiales y Métodos	23
2.1. Caracterización de la UEB “Héroes de Girón”.....	23
2.1.1. Descripción tecnológica del proceso productivo.....	25
2.2. Metodología para el desarrollo de opciones de Producción Más Limpia en procesos industriales.....	29
2.2.1 Situación actual.....	29

2.2.2 Recomendación.	29
2.2.3 Cálculos necesarios.....	29
2.2.3.2. Metodología para el cálculo de consumo de vapor.....	33
2.2.3.3. Metodología para el cálculo del ahorro de combustible.....	35
2.2.3.4. Metodología para el cálculo del ahorro de sosa caústica.	35
2.2.3.5. Metodología para el cálculo de ahorro de agua.....	37
2.2.4 Metodología para la evaluación económica de la propuesta.....	38
2.2.5 Metodología para la evaluación ambiental de la solución planteada.....	40
Capítulo 3: Cálculo y evaluación de la opción de PML.....	41
3.1. Descripción de la estación de limpieza tecnológica actual.....	41
3.2 Descripción de la estación de limpieza tecnológica propuesta.....	48
3.3. Cálculos necesarios.....	50
3.3.1. Evaluación de la bomba a emplear para el trasiego de sosa desde el tanque pulmón hasta las líneas de producción.....	50
3.3.2. Cálculo de consumo de vapor.	56
3.3.3 Cálculo del ahorro de combustible.....	57
3.3.4 Cálculo del ahorro de sosa caústica.....	58
3.3.5 Cálculo del ahorro de agua.	60
3.4 Evaluación económica de la propuesta	60
3.5 Evaluación ambiental de la solución planteada.....	62
3.6 Análisis de resultados.....	63
Conclusiones.....	65
Recomendaciones.....	67
Bibliografía.....	68
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 buscando una producción más limpia, 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; se presentan desviaciones de temperatura en los tres tanques disponibles, motivo del diseño que tiene hoy este esquema, en ocasiones las temperaturas promedian un valor aproximado a los 90°C, valor que se encuentra por encima de lo requerido (75°C - 85°C), lo cual representa un mayor consumo de vapor y por ende más combustible, lo cual provoca el desprendimiento de CO₂ a la atmósfera y otros contaminantes, además los cuellos de botellas a la hora de limpiar varias líneas implica atrasos en la producción. Debido a la problemática anterior, a esta estación se le recomienda una modificación como propuesta de PML.

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:

¿Como aumentar la eficiencia del sistema de limpieza tecnológica y a su vez disminuir el tiempo de abastecimiento de sosa caústica a todo el proceso productivo de la UEB “Héroes de Girón”?

Hipótesis:

Si se evalúa la propuesta de Producción Más Limpia de modificar la estación de limpieza tecnológica del proceso productivo que se desarrolla en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, se podrá garantizar la eficiencia de la limpieza de la planta, satisfacer las necesidades de abastecimiento de sosa cáustica a la producción, disminuir el consumo energético y residual tóxico.

Objetivo general: Evaluar la propuesta de PML de modificar la estación de limpieza tecnológica en el proceso productivo de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón de Jagüey Grande.

Objetivos específicos:

1. Establecer el diseño preliminar modificado de la estación de limpieza tecnológica.
2. Realizar cálculos en cuanto a selección de bomba, consumo de vapor, recuperación de soluciones de limpieza y ahorros.
3. Calcular los beneficios económicos que aporta esta innovación para la empresa y el país por concepto de ahorro de *fuel-oil*, agua y sosa cáustica.
4. Evaluar ambientalmente la solución, considerando la reducción de impactos ambientales negativos.

Capítulo I: Análisis Bibliográfico

En el presente capítulo se realiza un análisis conceptual y bibliográfico sobre diferentes términos que profundiza esencialmente en las definiciones referentes a limpieza tecnológica, Producción Más Limpia, portadores energéticos en la industria e Impacto ambiental a nivel industrial, con el objetivo de describir las principales herramientas que apoyan el desarrollo de la investigación.

1.4. Limpieza tecnológica.

1.4.1. Principios Generales.

El proceso de limpieza y desinfección debe asumirse como uno más del proceso de producción, sin escatimar medios, personal cualificado y tiempo para su ejecución y control. Las razones que obligan a incluir las prácticas de higiene en el proceso tecnológico productivo son las siguientes:

- Mejora de la calidad, esto sucede cuando se reducen los problemas de alteraciones, con lo que se evitan las pérdidas económicas por "no calidad". La calidad repercute directamente en la mejora de la imagen de la marca.
- Cumplimiento de la legislación (Legislación vitivinícola y R.D. 2207/1995) Mejora del rendimiento del proceso productivo.

Después de este proceso de limpieza, se puede usar, cuando sea necesario, la desinfección, o un método afín, para reducir el número de microorganismos que hayan quedado después de la limpieza, a un nivel tal que no puedan contaminar los productos. A veces, las etapas de limpieza y desinfección se combinan usando una mezcla desinfectante-detergente, aunque generalmente, se considera que esté método es menos eficaz que el proceso de limpieza y desinfección en dos etapas. (Harutiunian, 2009)

La efectividad de la limpieza viene determinada por cuatro factores significativos:

- Tiempo de duración del ciclo de limpieza.
- Agente de limpieza, productos químicos o combinación de ellos y la concentración de sus disoluciones.
- 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.

Un correcto estudio de la ingeniería de diseño permite evaluar el tipo de sistema y diseñar la combinación apropiada de los factores arriba mencionados.

Es totalmente necesario que las soluciones de limpieza pasen por toda la superficie de los equipos que están en contacto con el producto y, por tanto, no deben existir recovecos ni bolsillos que resulten inaccesibles. (Harutiunian, 2009)

1.1.2. Aplicación de limpieza química según características tecnológicas.

Puede escogerse la aplicación de un tipo de limpieza química atendiendo al proceso tecnológico. Puede dividirse el proceso a limpiar de dos formas.

- Equipos de superficie fría.
- Equipos de superficie caliente.

Equipos de superficie fría. Son aquellos equipos que no contemplan tratamiento térmico, por ejemplo (tanques de almacenamiento, equipos de recepción, sistemas de frío, etc.), puede decirse en forma general 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.). Es importante notar que varios factores pueden influir en estos procedimientos, como los productos producidos y la calidad del agua. (Torrecilla, 2011)

1.1.3. Proceso de CIP/COP.

El concepto de limpieza de una instalación sin desmontar ningún equipo ni tubería se resume como "limpieza CIP" (*Cleaning In Place*), que puede traducirse por "limpieza en el lugar".

La limpieza CIP es el método habitual de limpieza de plantas durante procesos de producción donde la higiene es, por supuesto, mandataria y suprema. (García, 2003)

El sistema de **limpieza CIP** es un sistema de lavado automático *in situ*, es decir sin desmontaje del equipo de producción, que consiste en recircular la solución de limpieza a través de los componentes de la línea de proceso como tuberías, intercambiadores de calor, bombas, válvulas, etc. La solución de limpieza pasa a gran velocidad por la línea, generando la fricción requerida para eliminar la suciedad.

Siempre hay que tener en cuenta que la solución sea adecuada para todas las superficies por las que circulará y evitar que se acumule en el fondo de los equipos porque pierde su poder esterilizador. (Aurum Process Technology, 2010, Crespo, 2009).

La diversidad de productos y procesos demandan soluciones diferenciadas. Este sistema consiste en un tanque de detergente con una solución lista para utilizar, montado en una base. La solución de limpieza es circulada y calentada hasta la temperatura de operación. Se hacen mediciones de conductividad en línea para asegurar que la cantidad de detergente agregada es la correcta. El agregado de detergente es ajustado de acuerdo al programa CIP. Los módulos CIP son fáciles de integrar al proceso y ofrecen una solución óptima para productos demandantes. (*GEA Process Engineering Spain*)

❖ **Limpieza de cañerías, tuberías o sistemas cerrados.**

Gran parte de los sistemas industriales de producción incorporan cañerías, tuberías o sistemas cerrados por donde circulan alimentos o ingredientes. Para lograr una higiene efectiva se hace circular la solución de limpieza por los equipos e instalaciones durante un tiempo determinado y con un caudal turbulento. Esta turbulencia sólo asegura la efectividad de la limpieza si presenta el llamado número de Reynolds en una franja de valores adecuada. Por tanto, los fluidos utilizados para las operaciones de limpieza deben circular en régimen turbulento. El óptimo resultado se logra alcanzando velocidades en tubería de 1,5 a 3,0 m/s. (Harutiunian, 2009)

Trabajos de investigación apuntan que una velocidad óptima del fluido se encuentra entre 1,3 a 2m/s, en cualquier caso, lo cual es independiente del diámetro de la tubería.

Un incremento de la velocidad del flujo sobre 2m/s no proporciona beneficios sustanciales en la limpieza, en vez de esto aumenta en gran medida los costos, dado que la energía necesaria para el bombeo se incrementa en relación cuadrática con la velocidad del fluido.

Como se indicó anteriormente, el aumentar la velocidad por encima de 2m/s no genera una mejora significativa en la limpieza de la línea de producción ya que una vez se alcance el valor de fricción superficial óptimo, la fricción extra que se produzca no representa mas que un gasto innecesario de energía; pero en caso contrario, si se trabaja a una velocidad menor del estándar (1,4 m/s) los resultados obtenidos en la limpieza son deficientes, ya que para llevar a cabo la limpieza de puntos muertos en una línea de producción es necesario alcanzar al menos 1,4m/s.(Estrada, 2007)

Los productos especiales así como los equipos especiales de la planta pueden requerir ajustes en el programa. La única manera de determinar esto es inspeccionando el resultado de la limpieza. (Torrecilla, 2011)

Cuando las instalaciones de una empresa cuentan con intersecciones de tuberías destinadas al transporte de líquidos alimentarios diseñadas según los criterios higiénicos, esto puede suponer llegar a reducir más del 50% del consumo de agua, de energía, detergentes y el tiempo empleado en tareas de limpieza y desinfección. (Ainia actualidad, 2012)

La calidad sanitaria de los alimentos está garantizada legalmente en Cuba por una serie de documentos y normativas que favorecen la manipulación, almacenamiento y transporte higiénico de los mismos. La norma cubana NC 38-00-03:1999 "Principios Generales de Higiene de los Alimentos" establece que se dispondrán de instalaciones y procedimiento que aseguren que toda operación de limpieza y mantenimiento se lleve a cabo de manera eficaz y que se mantenga un grado apropiado de higiene personal.

Cada establecimiento de alimentos debe tener su Programa de Limpieza y Desinfección y además se organice un sistema de lucha contra plagas.

1.1.4. Detergentes a utilizar.

Un detergente debe ser capaz de remover varios tipos de suciedad. Varias sustancias químicas son requeridas para lograr esto.

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 ($\text{NaOH}_{(l)}$ =sosa cáustica), los silicatos y los carbonatos.

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 60 - 80°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, 2011)

Los detergentes y desinfectantes se utilizaran con el objetivo de cumplir lo establecido por el fabricante, y las regulaciones vigentes al efecto, lo que garantiza eficacia y economía de uso.

Los envases estarán debidamente rotulados y se almacenarán separados de los alimentos y en condiciones que no ofrezcan riesgos de contaminación para los mismos. (MINAL, 1989)

Principalmente se utilizan 3 compuestos químicos como agentes alcalinos, estos son:

- Soda cáustica (NaOH)^(l)
- Carbonato de sodio (Na₂CO₃)^(l)
- Fosfato de sodio (Na₂PO₄)^(l)

La concentración de este tipo de soluciones normalmente se encuentra entre 2 y 3% a un rango de temperatura de 70 a 85°C. (Estrada, 2007).

La eficacia de un desinfectante también depende de los organismos que se quieren combatir, de su modo de multiplicación y 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 H, 1991)

1.1.4.1 Sosa cáustica:

Actualmente, el hidróxido de sodio (sosa cáustica) puro se vende en casi todos los países, pues se le utiliza corrientemente en la industria química y en las fábricas de papel. También se usa como limpiador de los alcantarillados de desagüe. Debe ser usado con máxima prudencia y bajo control, porque tiene propiedades corrosivas e irritantes y puede ser peligroso para el medio ambiente y los usuarios. El personal debe llevar overoles y gorros de protección impermeables, botas y anteojos de protección; las superficies de aluminio deben protegerse pues no deben estar en contacto con la lejía; también es importante saber que la lejía puede desprender la pintura de las superficies. (Fraser C, 1991)

❖ Identificación del Producto.

Nombre del producto: Sosa cáustica anhidra

Nombre químico: Hidróxido de sodio

Sinónimos: Sosa cáustica (esferas, hojuelas, perlas, microperlas) lejía de sosa

Fórmula química: NaOH

Peso molecular: 40,01

Uso del producto: Pasta y papel, aluminio, refinación petrolera, industria química, limpiador de metales, industria alimenticia, grabado y galvanoplastia, detergentes y blanqueadores.

Identificación de Peligros

Información general sobre emergencias:

- Provoca quemaduras severas en los ojos y la piel.
- Reacciona con la humedad para liberar calor y reacciona con metales diversos para liberar hidrógeno.

Vía de entrada:

Inhalación

Piel

Ingestión

Efectos potenciales de la exposición:

- Corrosivo.
- Provoca quemaduras severas en los ojos y la piel.
- Irritante para los ojos, la piel y el tracto respiratorio.

Inhalación:

- Inhalación de polvos y neblinas provoca quemaduras en los conductos nasales, irritación severa del tracto respiratorio y daños gastrointestinales.
- Puede causar edema pulmonar.

Ojos:

- Irritación intensa y quemaduras en los ojos y párpados.
- Ceguera posible.

Contacto con la piel:

- Irritación intensa y quemaduras, enrojecimiento e hinchazón de la piel.
- Ulceraciones profundas, lentas de curar.
- Al contacto con el producto en solución, la piel se pone “jabonosa” al tacto.

Ingestión:

- Irritación intensa y quemaduras de la boca, de la garganta, del esófago y del estómago.
- La ingestión de soluciones concentradas ha sido fatal en los animales y los seres humanos. (Memoria descriptiva de la Empresa Héroes de Girón, 1980).

❖ **Propiedades Físicas y Químicas.**

Aspecto: Material sólido, cristalino.

Color: Translúcido.

Olor: Inodoro.

Información importante de la Salud, de la Seguridad y del Medio Ambiente:

pH: 14 (solución al 5%).

Cambio de estado:

Punto de fusión: 318°C (604°F).

Punto de ebullición: 1390°C (2534°F).

Temperatura de descomposición: No hay datos.

Punto de ignición: No hay datos.

Inflamabilidad (sólido, gas): No hay datos.

Propiedades explosivas: No hay datos.

Propiedades de oxidación: No hay datos.

Presión de vapor: 1,5 mm Hg (0,2 kPa) a 20°C (68°F).

Densidad relativa: Gravedad específica (H₂O=1): 2,13 a 15,5°C (60°F).

Solubilidad:

Agua: Completamente soluble en agua (solución al 50% a >10°C [50°F]) acompañada de una liberación de calor significativa.

Grasa: No aplica.

Coefficiente de repartición: P (n_{octanol}/agua): No hay datos.

Viscosidad: 50 cps a 36°C (97°F) para una solución al 50%.

Densidad de vapor (aire =1): No aplica.

Tasa de evaporación: No hay datos.

Otra información: Densidad aparente: 1.000 kg/m³ (69 libras por pie cúbico).

Tensión superficial: No aplica.

(Memoria descriptiva de la Empresa "Héroes de Girón", 1980)

1.1.5. Procedimiento actual para la preparación de la sosa en la institución.

Antes de la preparación de sosa del 2 al 4%, tenemos la posibilidad de preparar una solución a una concentración más elevada y tenerla 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. El tanque de 30 000 litros se cogerá para este fin, y se realizará de la siguiente manera:

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

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

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

- Añadir agua a los 3 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 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 2 válvulas de entrada de vapor al área de preparación de la sosa.
- 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, es que debe tener una concentración del 2 - 4%.

Si da correcto el análisis parar las bombas, sino, informar al Técnico de Línea o al Jefe de Turno, para tomar las medidas necesarias para ajustar la solución de sosa a las especificaciones de calidad.

Realizar un Registro de Control de la sosa, que lo llena el Jefe de Línea y Control de Calidad y se archiva durante la campaña.(R/Pr/G-18-1)

La sosa 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. (Memoria descriptiva de la Empresa Héroes de Girón, 1980)

1.1.6. Evaluaciones de las soluciones de limpieza.

Concentración: La medición de la concentración es el requisito más importante en la efectividad de la limpieza.

Medición del pH: La medición del pH puede ser un método eficaz y rápido para evaluar la calidad y concentración de líquidos. Sin embargo, este método puede dar falsos resultados si el líquido se contamina, es decir, el valor del pH y la concentración no siempre coinciden.

Por consiguiente se recomienda usar la titulación o un conductímetro para determinar la concentración de los líquidos de limpieza.

Conductividad: Muchas unidades de limpieza están equipadas con un conductímetro, un 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. La señal se convierte en información digital y luego se procesa según los valores de temperatura y de calibración. Como la temperatura tiene una gran influencia sobre los valores de conductividad, es indispensable que el conductímetro tenga una compensación automática de temperatura. (Torrecilla, 2011)

1.2 Producción Más Limpia

El cumplimiento ambiental desde la perspectiva de la gestión pública, ha sido abordado en diferentes etapas, iniciando con lineamientos de comando y control, es decir, normas y leyes que plantean límites máximos permisibles y que tienen por objetivo que las empresas cumplan con lo establecido en ellas. Otras herramientas propuestas son los instrumentos económicos que tienen por objetivo incentivar en algunos casos el cambio en sus equipos a tecnología amigable con el ambiente, reduciendo a la empresa en la disminución en el tiempo de amortización de los equipos.

El concepto de producción limpia surge como una estrategia de prevención que las empresas grandes, medianas o pequeñas pueden aplicar a sus procesos productivos, orientada al uso eficiente de los recursos naturales, insumos y materias primas; con el objetivo de disminuir tanto los riesgos a la salud humana como al ambiente, y al mismo tiempo mejorar la productividad y competitividad de la empresa. (Serrano, et al, 2006)

En este sentido, la experiencia acumulada en las últimas décadas ha permitido establecer algunos principios básicos orientadores, dentro de los cuales, se deben buscar las oportunidades para satisfacer los objetivos económicos y ambientales

Las modificaciones tecnológicas e innovaciones a los procesos industriales aparecen como conclusión de un proceso de búsqueda de un mejor desempeño productivo, que persigue reducir costos e incrementar la eficiencia de dichos procesos, generando un aumento en los beneficios económicos de la empresa. (PNUMA - ONUDI, 1994)

La “Producción más limpia” (PML) es una práctica empresarial que se aplica a todos los procesos de cualquier tipo de empresa y subsector industrial, para incrementar la

productividad y las utilidades económicas, mediante el uso óptimo de agua, energía y materias primas, minimizando, al mismo tiempo la generación de desechos y los costos inherentes al tratamiento y disposición de los mismos. (CITMA, 1999)

La producción más limpia está dirigida hacia la integración de los objetivos ambientales en el proceso de producción con el fin de reducir los desperdicios y emisiones en términos de cantidad y toxicidad y por tanto, reducir los costos. (Sage, 1999, Hernández, 2006, Orcés, 2003)

1.2.1 Aplicación de la Producción Más Limpia en Cuba.

La introducción de la Producción más Limpia (PML) en Cuba ha tenido ciertas limitaciones debido a la insuficiente inclusión en las estrategias ambientales vigentes tanto nacionales, como sectoriales y las territoriales, la forma de abordar las soluciones a los problemas ambientales enfatizando el uso de tecnologías al final del tubo en lugar de la toma de acciones de carácter preventivo a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio, la carencia de recursos materiales y la necesidad de financiamiento para llevar a cabo inversiones, así como también , la falta de conocimiento por parte de directivos, personal técnico y demás trabajadores para entender lo que significa la aplicación de este concepto y los beneficios económicos y ambientales que reporta para la empresa cubana. Sin embargo, existen posibilidades reales de su aplicación en Cuba porque a diferencia del resto de los países en vía de desarrollo o subdesarrollados se cuenta con una voluntad política para enfrentar los problemas de contaminación además de una política ambiental que incluye el concepto, la coordinación y sinergia entre los actores involucrados en el tema (gobierno, industria y sociedad). (CITMA, 2005)

En el país se ha venido trabajando en la institucionalización de la PML en el sector empresarial promoviendo la aplicación de este concepto para mejorar el desempeño económico y ambiental a través de la inclusión del enfoque preventivo de la contaminación en las estrategias ambientales nacionales, sectoriales y territoriales, por medio de la divulgación y capacitación y la demostración de los beneficios económicos y ambientales mediante estudios de casos exitosos.

A inicios del año 2003, el Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA) del CITMA publicó el documento “La PML en las políticas y prácticas vigentes en Cuba” donde se describe y analiza el marco institucional, regulatorio y ambiental en el cual se

inserta el trabajo en el campo de la PML, lo cual creó las bases para la formulación en el año 2004 del “Plan Nacional para la introducción de la PML en la gestión ambiental empresarial”.

El objetivo general de este plan es lograr la inserción plena e integral del concepto de PML en las políticas y prácticas vigentes en el sector empresarial del país, mientras los objetivos específicos están dirigidos a incentivar y promover este concepto en la gestión ambiental empresarial propiciando su articulación con el resto de las políticas orientadas a este sector; definir el enfoque del trabajo en esta esfera, contribuyendo al desarrollo de programas de PML en sectores priorizados y la introducción integral de la PML en los instrumentos de gestión ambiental vigente. (CITMA, 2005)

1.2.2. Factores a considerar en la Implementación de las prácticas de producción más limpias en Cuba.

La aplicación de la producción más limpia en Cuba si bien está basada en la concepción más utilizada mundialmente tiene sus propias estrategias y principios, los cuales se muestran a continuación:

- Mejoramiento de la gestión de producción. (Contempla la toma de medidas internas que no provocan cambios en los procedimientos de fabricación.)
- Uso eficiente del agua.
- Inventario, almacenamiento y manejo adecuado de los materiales utilizados en el proceso productivo. (Incluye la compra de materiales, el registro de las fechas de caducidad, la utilización de contenciones, el manejo cuidadoso de los materiales peligrosos y el establecimiento de los procedimientos de eliminación de materiales contaminados o caducados.)
- Separación y tratamiento independiente de los residuales. (Implica la separación en la fuente de los diversos residuales generados en la instalación, para permitir su manejo diferenciado de acuerdo a su peligrosidad, grado de contaminación y posibilidades de tratamiento y aprovechamiento.)
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Reciclaje o reuso de residuales.
- Educación y capacitación de los recursos humanos.
- Modificaciones en los procesos productivos.

- Aprovechamiento económico de residuales. (Debe constituir la línea prioritaria de trabajo en la introducción de prácticas de producción más limpia en el país.)
- Controles de salida. (Reducen la contaminación cuando su funcionamiento es adecuado, pero son soluciones costosas para la sociedad y la industria, que pueden generar problemas.) (CITMA, 2006)

1.2.3. Beneficios de la producción más limpia.

Diversos son los beneficios que brinda la producción más limpia, entre los que se pueden mencionar.

- Beneficios para la industria:
- Reducción de los costos a través del ahorro de energía y materiales.
- Mejora la eficiencia de operación de las plantas.
- Recuperación de algunos materiales desechados.
- Posibilidad de mejorar el ambiente laboral. (salud y seguridad)
- Mejora del cumplimiento de las regulaciones ambientales.
- Reducción de los costos de las soluciones “al final del tubo”.

Los resultados obtenidos, contribuyen a desarrollar vías de trabajo que para el perfeccionamiento de la actividad regulatoria ambiental, en la inserción de los conceptos de PML y así inhibir las conductas despilfarradoras y contaminadoras de las Empresas productivas y de servicios, ejemplos:

- Reducir el consumo de las materias primas y energía usadas en la producción de una unidad de producto.
- Eliminar – hasta donde sea posible – el uso de materiales tóxicos y peligrosos.
- Reducir en la fuente la cantidad y toxicidad de todas las emisiones y residuos generados y liberados. PML. (Hernández, 2006)
- Beneficios para los clientes:
- Muestra mayor confianza con una gestión de la calidad y ambiental demostrable.
- Incrementa la sustentabilidad del producto y su aceptación por el cliente.
- Aumento de la vida útil del producto.
- Mayores cuidados en la disposición final del producto.
- Existe un estímulo para que la empresa piense más en el cliente y reduce el riesgo de esta de no satisfacer a sus clientes. (Serrano, et al, 2006)

- Beneficios para el medio ambiente:
- Uso racional de materias primas y otros insumos.
- Conservación de los recursos naturales.
- Disminución y control de los contaminantes.
- Armonización de las actividades con el ecosistema. (González, 2005)

1.2.4. La producción más limpia en el sector industrial citrícola.

La PML comienza a aplicarse en el sector industrial citrícola a partir de un análisis de condiciones objetivas y la necesidad de:

- Reducir los costos de producción a través del uso más eficiente de las materias primas, la energía, el agua y los materiales auxiliares, todos insumos con alto precio en los mercados nacionales e internacionales.
- Buscar nuevos mercados para las producciones.
- Gestionar la rápida recuperación de las nuevas inversiones sin elevar los indicadores de consumo en la búsqueda de la diversificación de las producciones, ni afectar al personal ni la infraestructura industrial existente.
- Aprovechar con mejor eficiencia la capacidad técnica e intelectual del personal administrativo, técnicos y obreros de la industria.
- Lograr altos niveles de conciencia en los directivos y trabajadores para reducir el impacto ambiental de las producciones, asegurando sistemáticamente el cumplimiento de las regulaciones ambientales vigentes.
- Crear incentivos para mejorar las condiciones laborales de los trabajadores.
- Incrementar la motivación de los trabajadores para introducir innovaciones en la recuperación de productos, disminuir los costos de producción, contribuir a elevar los salarios y la reducción de los riesgos laborales.
- Elevar el nivel cultural y la autoestima de los trabajadores al estimularlos a participar en entrenamientos, cursos de capacitación, conferencias y foros.
- Aprovechar las condiciones y bases creadas en el país para optar por reconocimientos y premios nacionales e internacionales de certificaciones ambientales y de calidad.
- Mejorar la imagen empresarial y su relación con los clientes y la comunidad circundante. (Prévez, et al, 2007)

1.3 Portadores energéticos en la industria.

La humanidad en su actual estado de desarrollo socioeconómico y cultural depende en gran medida de la disponibilidad de energía en sus manifestaciones térmicas y eléctricas, para asegurar alto grado en su calidad de vida se requiere enfrentar con criterios de racionalidad y eficiencia el uso de las fuentes no renovables de energía. Una de las prioridades de cualquier política energética es lograr el máximo de eficiencia en el consumo de portadores energéticos, ya que esta acción alivia en buena medida las presiones y los impactos tanto de tipo económico como ecológicos.

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. Pero la PML también se asegura que este vapor sea eficientemente utilizado en los equipos tecnológicos. (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, como agente calefactor en servicios comerciales e industriales, y como 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 lograr el 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)

1.3.1. Intercambiadores de calor a placas.

La industria alimenticia presenta varios casos donde se requiere operar con saltos térmicos reducidos, a bajas temperaturas y con tiempos mínimos de contacto, por lo que se requiere equipos especiales de transferencia de calor. Estos equipos especiales capaces de cumplir con los requisitos antes mencionados son los llamados intercambiadores de calor de placas.

Los intercambiadores de placas son equipos muy difundidos en la Industria de procesos cubriendo una amplia gama de aplicaciones. Presentan características muy especiales tanto en su diseño como en la operación que los hace motivo de un estudio particular.

Comparado con otro tipo de intercambiadores, los intercambiadores de calor de placas tienen una alta relación de transferencia de calor respecto al tamaño. El coeficiente de transferencia de calor alcanzado por un intercambiador de calor de placas es considerablemente mayor que el alcanzado por un intercambiador tradicional de carcasa y tubos. (Maiocchi, et al, 2002)

Los intercambiadores de calor de placas son ideales para aplicaciones en las que los fluidos tienen una viscosidad relativamente baja y no contienen partículas. Además son una elección ideal donde existe un pequeño salto térmico entre la temperatura de salida del producto y la temperatura de entrada del servicio. Estos intercambiadores consisten en delgadas planchas corrugadas, empaquetadas o bien soldadas con cobre. Las placas son apretadas unas contra otras formando el paquete de placas dentro de un bastidor, en el que el flujo de producto se encuentra en canales alternos y el servicio entre los canales del producto. (*HRS Heat Exchangers, s/a*)

1.4 Impacto ambiental a nivel industrial.

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).

Los impactos ambientales asociados a cada alternativa de proceso, deben ser evaluados oportunamente y considerados en la selección de las opciones más atractivas, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental. Esto se discute brevemente a continuación

La evaluación del impacto ambiental (EIA) es uno de los componentes esenciales del diseño de procesos limpios, ya que permite analizar los atributos ambientales, de las diferentes alternativas que surgen en la síntesis de un nuevo proceso. (Ministerio de Medio Ambiente de España, 2000)

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:

- 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.

Para llevar a cabo tales medidas, es necesario identificar las principales debilidades y fortalezas de la empresa en materia ambiental, seguridad y salud ocupacional, incluyendo las oportunidades y amenazas que enfrenta. (Cheremisinoff P.N, 1989)

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 H.C, 1974)

1.4.2. Principales problemas ambientales de la industria procesadora de cítrico en Cuba.

La industria de cítrico puede considerarse como una fuente importante de contaminación líquida y sólida y de emisiones a la atmósfera si no se mantiene una adecuada disciplina tecnológica y un eficiente manejo de todos sus recursos. El vertimiento de residuales cítricos sin previo tratamiento, provoca graves trastornos al Medio Ambiente al contaminar severamente las aguas superficiales y subterráneas, producir emanaciones de metano a través de la tierra, proliferar insectos, vectores y malos olores por el vertimiento de los residuos industriales sin previo tratamiento intensifican las enfermedades respiratorias. Además provoca erosionabilidad en los suelos y por su efecto ácido, se desarrollan cultivos con síntomas de enanismo y toxicidad en las zonas afectadas.

Producir y mantener el respeto con el medio ambiente es una prioridad para las industrias procesadoras de cítricos por estar enclavadas en zonas de importancia estratégica para el

país como es la Cuenca del Cauto en Contramaestre y ser el destino final de los efluentes industriales el Río Cuyaguaje en Pinar del Río, la Ciénaga de Zapata en Matanzas y la Laguna de la Leche en Ciego de Ávila.

Entre los principales impactos que puede generar la industria se tienen:

- Modificación de la calidad de los suelos por el vertimiento de residuos sólidos (hollejos) sin previo tratamiento. La acidez de este producto produce erosión en los suelos en que son vertidos.
- Aprovechamiento de terrenos improductivos con la aplicación del bioabono procedente de las plantas de tratamiento de residuales líquidos.
- Incremento de los niveles de contaminación de las aguas subterráneas y superficiales por la disposición de residuales líquidos sin adecuado tratamiento.
- Deterioro de la calidad de las aguas superficiales por el alto contenido de coliformes totales y fecales de las aguas vertidas al cuerpo receptor.
- Pérdida de la biodiversidad biológica por el vertimiento de los residuos sin tratar al ecosistema.
- Generación de empleos y oportunidades económicas.
- Fomento de comercio y servicios.
- Aumento de la población en la periferia con el surgimiento de barrios espontáneos.
- Estimulación al desarrollo industrial.
- Desprendimiento de metano por la digestión anaerobia de los residuales líquidos.
- Utilización de refrigerantes agotadores del ozono.
- Agotamiento del recurso agua por el exceso de su consumo durante el procesamiento industrial.

Entre las causas que originan los principales problemas ambientales encontramos:

- El poco aprovechamiento de todos los subproductos de las industrias como las celdillas y pulpas aumentando la carga contaminante de los efluentes industriales.
- No se mantiene una eficiente disciplina tecnológica para evitar el vertimiento de residuos sólidos groseros y tóxicos a las plantas de tratamiento.
- Generalmente no se realiza un adecuado uso ni rehúso de las aguas que se generan en el proceso productivo ni se desagregan las corrientes de la industria para disminuir el volumen y la carga contaminante de sus residuos.

- No se tiene instalado en muchas industrias el sistema para recircular las aguas amarillas en el proceso productivo con el objetivo de aumentar los rendimientos de aceite esencial y disminuir este tóxico de los sistemas biológicos de depuración.
- Aunque se han establecido contratos para la recogida del hollejo húmedo por las empresas ganaderas, aún existen problemas con su recogida y disposición provocando paradas innecesarias en la industria y contaminación en las zonas que son vertidos. (Prévez, et al, 2007)

Conclusiones Parciales

1. La limpieza será una operación análoga a las otras actividades que tienen lugar en la planta y deberá estar igualmente documentada, así como su correspondiente proceso de control permitirá tomar decisiones inmediatas sobre si se debe repetir la limpieza, parcial o totalmente.
2. Con la aplicación de la Producción Más Limpia se facilita el trabajo de minimización de la contaminación del medio ambiente, aumenta la calidad en los productos terminados y mejora la eficiencia de las empresas.
3. 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.
4. La apuesta por una tecnología que reduzca el impacto ambiental en la producción se acepta como la mejor opción.

Capítulo II: Materiales y Métodos

En este capítulo se describe de forma breve el proceso productivo de la UEB, para ello se realizan recorridos a la planta de producción, en conjunto con especialistas en tecnología, se revisan documentos técnicos y memorias descriptivas de la empresa. Además se plantea la metodología a seguir para evaluar una bomba, calcular el consumo de vapor en la estación, determinar la cantidad de sosa y agua posible a recuperar, calcular por concepto de ahorro de *fuel-oil*, sosa cáustica y agua los beneficios económicos para la UEB y establecer la evaluación ambiental de la propuesta siguiendo métodos de cálculos brindados por la ONUDI en el Manual de Producción Más Limpia para la industria citrícola.

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

Ubicación de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón.

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

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

❖ Desempeño básico de la entidad.

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

La visión es que la empresa se consolida como una organización altamente eficiente y competitiva, capaz de procesar con eficiencia los volúmenes de fruta a recibir, los productos son referencia en el mercado nacional y en el exterior por su calidad, color y sabor, así como por el beneficio que reporta a los clientes. Sus niveles de ventas crecen y

con ello las utilidades, todo basado en una empresa moderna, diversificada y solvente. Las buenas prácticas de producción están bien establecidas y se llevan a cabo por parte del personal. Todos los procesos y actividades de la empresa se encuentran descritos en los procedimientos normalizados de organización, siendo este sistema comprobado en auditorias trimestrales.

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

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

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

❖ **Principales Producciones:**

- Jugos concentrados de toronja y naranja.
- Jugos naturales de toronja y naranja.
- Jugos asépticos de toronja y naranja.
- Aceites esenciales de toronja y naranja.
- Celdillas cítricas de toronja y naranja.
- Jugos concentrados de Piña
- Pulpa concentrada de frutas tropicales.
- Pasta de tomate.
- Puré de tomate.
- Conservas y mermeladas de frutas tropicales.
- Hollejo húmedo.

❖ **Empresas de la Competencia:**

Nacionales:

- Cítricos Ceballos
- Cítricos Contra maestre
- La Conchita
- Planta Libertad

• **Internacionales:**

- La Florida
- Brasil

❖ **Principales Clientes:**

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

❖ **Principales Proveedores:**

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

2.1.1. 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 el basculador, continuando hasta el área de recepción donde se descargan, en este sitio es tomado al azar una muestra de tres unidades independientemente del volumen y la especie, para analizar algunos parámetros de calidad de las frutas, se determina el brix, índice de madurez, acidez, distribución de calibre 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 palos, piedras, pedúnculos, ramas con hojas que puedan aparecer.

Después de un almacenamiento temporal en los silos, la fruta es trasladada por cintas transportadoras hasta las tres líneas de trabajo, cada una constituida por:

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 ser de 0,5 – 1,0 p.p.m para eliminar posibles bacterias o microorganismos presentes en las frutas. El recorrido continúa elevando las frutas por un elevador de cangilones hasta la tolva de alimentación a la mesa de selección donde son separadas las frutas no aptas para el procesamiento, en mal estado, muy sucias, etc. 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 y los deshechos 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:

- 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. (Departamento de tecnología, revisión 2009a).

• **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 ya sea de naranja o toronja es enviado a los tanques de ajuste cada uno de 20000 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°C , listos para su exportación. (Departamento de tecnología, revisión 2009a).

- **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 000L donde se prepara el lote, con los requisitos adecuados y mediante una bomba se alimenta un intercambiador de calor donde se pasteriza 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 de naranja es pasterizado a una temperatura que oscila entre $96 - 98^{\circ}\text{C}$ y el de toronja entre $94 - 96^{\circ}\text{C}$, en ambos casos con retención de 10 segundos. El jugo que entra al pasterizador 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°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°C , para su posterior exportación. (Departamento de tecnología, revisión 2009a).
- **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 litros 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 bins para su posterior exportación. (Departamento de tecnología, revisión 2009a).

- **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 % 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 fresca.
- **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, revisión 2009a).

- **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, revisión 2009a).
- **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, revisión 2009a).

2.2. Metodología para el desarrollo de opciones de Producción Más Limpia en procesos industriales.

Esta metodología se basa en los siguientes aspectos a desarrollar:

2.2.1 Situación actual.

Se expone cual es la situación que presenta en el momento del análisis el lugar donde se va a implementar la opción en cuestión.

Se describe detalladamente el proceso de limpieza tecnológica actual de la UEB y se proyecta en un dibujo con el uso del programa Microsoft Office Visio 2007.

2.2.2 Recomendación.

Debe contemplar concretamente la opción a desarrollar.

Se esboza un croquis o dibujo de la propuesta hecha a la estación, con el empleo del programa Microsoft Office Visio 2007 con cada una de sus conexiones, equipos y accesorios que la componen. Además se describire el funcionamiento del sistema presentado.

2.2.3 Cálculos necesarios.

En este punto se realizan los cálculos pertinentes para determinar los valores de los parámetros de mayor significación.

2.2.3.1. Metodología para la evaluación de la bomba a emplear para el trasiego de sosa y agua.

La literatura plantea la posibilidad de usar bombas Spirax Sarco, pero en la industria se valora la posibilidad de usar una bomba en desuso que en años anteriores trabajaba en una línea de agua en condiciones similares.

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

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

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

Donde:

P_1 : presión en el punto 1. [Pa]

ρ_1 : densidad del fluido en el punto 1. [kg/m³]

g : gravedad específica. [m/s²]

Z_1 : altura, (eje de referencia 1). [m]

α_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]

ρ_2 : densidad del fluido en el punto 2. [kg/m³]

Z_2 : altura, (eje de referencia 2). [m]

α_2 : factor de corrección de energía cinética en el punto.

v_2 : velocidad en el punto 2. [m/s]

$\sum H_f$: pérdidas totales por fricción en tuberías y accesorios. [m]

Cálculo de la carga de la bomba.

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

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

Cálculo de las pérdidas en tuberías y accesorios (ΣHf).

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

$$Hf_{tub} = \frac{f \cdot v^2 \cdot L}{d \cdot 2 \cdot g} \quad (2.2)$$

Donde:

Hf_{tub} : pérdidas por fricción en tuberías. [m]

f: factor de fricción.

v: velocidad del fluido por la tubería. [m/s]

L: longitud de la tubería. [m]

d: diámetro de la tubería. [m]

g: gravedad específica. [m/s²]

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

El régimen en que se encuentra el fluido se determina calculando el número de Reynolds.

La ecuación que permite calcular el Reynolds del fluido es la siguiente:

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\mu} \quad (2.3)$$

Donde:

Re: número adimensional de Reynolds.

μ : viscosidad del fluido en tuberías. [Pa·s]

Para:

Re < 2100 El régimen es Laminar y $\alpha = 2$

2100 < Re < 4000 El régimen es de Transición

Re > 4000 El régimen es turbulento y $\alpha = 1$

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

$$q = v \cdot A \quad (2.4)$$

Despejando se obtiene que:

$$v = \frac{q}{A}$$

Donde:

q: flujo volumétrico. [m³/s]

A: área. [m²]

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

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (2.5)$$

Donde:

π: constante matemática.

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

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

$$Hf_{acc} = \sum k \cdot \left(\frac{v^2}{2 \cdot g} \right) \quad (2.6)$$

Donde:

Hf_{acc}: pérdidas por fricción en accesorios. [m]

k: valor de coeficientes de resistencias locales.

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

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

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

$$\sum Hf_{totales} = (Hf_{tub} + Hf_{acc})_{antes} + (Hf_{tub} + Hf_{acc})_{desp} \quad (2.7)$$

Donde:

ΣHf_{totales}: pérdidas por fricción totales en las tuberías y accesorios de la instalación. [m]

Cálculo del NPSH del sistema.

Para comprobar el último de los criterios de selección de la bomba se calcula el $NPSH_{sistema}$ por la siguiente ecuación, y se compara con el dato brindado por el fabricante.

$$NPSH_{sistema} = \frac{P_3 - P_v}{\rho \cdot g} \quad (2.8)$$

Donde:

$NPSH_{sistema}$: carga neta de succión positiva del sistema. [m]

P_3 : presión de entrada a la bomba. [Pa]

P_v : presión de vapor. [Pa]

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

Se despeja de la ecuación de balance mecánico de Bernoulli (2.1) y se obtiene la siguiente expresión:

$$P_3 = \rho \cdot g \cdot \left[\frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 + \frac{\alpha \cdot (v_1)^2}{2 \cdot g} + Hb - \left(\frac{\alpha \cdot (v_3)^2}{2 \cdot g} \right) - Z_3 - \sum Hf \right] \quad (2.9)$$

Donde:

v_3 : velocidad en la tubería. [m/s]

Z_3 : altura, (eje de referencia 3). [m]

$\sum Hf$: pérdidas por fricción antes de la bomba, [m]

Se calculan las pérdidas por fricción tomando en cuenta la metodología planteada anteriormente, que difiere en que no se calcula ningún valor después de la bomba ya que esta no existe en este nuevo balance.

2.2.3.2. Metodología para el cálculo de consumo de vapor.

• Consumo de vapor de la estación de limpieza tecnológica actual.

En la estación de preparación de sosa se hace imprescindible 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 promediada en los tres tanques actualmente se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$m_{vapor} = \frac{Q}{H_{vaporización}} \quad (2.10)$$

Donde:

Q : Calor absorbido. [kcal]

m_{vapor} : masa de vapor. [kg]

H_{vaporización}: Entalpía de vaporización. [509,16 kcal/kg]

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

$$Q = masa_{sosa} \cdot Cp \cdot (T_f - T_i) \quad (2.11)$$

Donde:

Q: Calor absorbido. [kcal]

m_{sosa}: masa de sosa a calentar en los tres tanques. [kg]

Cp : Calor específico de la sosa caústica al 2,5%. [0,97kcal/kg°C]

T_f: Temperatura de la sosa caústica promediada en los tres tanques. [°C]

T_i: Temperatura ambiente. [°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.

• Consumo de vapor de la estación de limpieza tecnológica modificada.

El calor absorbido para precalentar la sosa en los tres tanques de preparación hasta una temperatura aproximada a los 50°C se determinará por la ecuación 2.11 donde:

Q : Calor absorbido en los tanques de preparación. [kcal]

m_{sosa}: masa de sosa a calentar en los tres tanques. [kg]

Cp : Calor específico de la sosa caústica al 2,5%. [kcal/kg°C]

T_f: Temperatura de la sosa caústica promediada en los tres tanques. [°C]

T_i: Temperatura ambiente. [°C]

El calor absorbido por la sosa caústica en el intercambiador de calor a placas se determina nuevamente por la ecuación 2.11 donde:

Q : Calor absorbido en el intercambiador de calor. [kcal]

m_{sosa}: masa de sosa a calentar en el intercambiador. [kg]

Cp : Calor específico de la sosa caústica al 2,5%. [kcal/kg°C]

T_f: Temperatura de la sosa caústica a la salida del intercambiador de calor. [°C]

T_i : Temperatura de la sosa caústica a la entrada del intercambiador de calor. [°C]

El calor absorbido por la sosa según la variante propuesta será resultado de la ecuación siguiente:

$$Q_{total} = Q_{tanques} + Q_{intercamb} \quad (2.12)$$

Donde:

Q_{total} : calor total absorbido por la solución sódica. [kcal]

$Q_{tanques}$: calor absorbido por la solución sódica en los tanques de preparación. [kcal]

Q_{total} : calor absorbido por la solución sódica en el intercambiador de calor. [kcal]

Calculado el calor necesario para calentar dicha solución de limpieza a la temperatura requerida se puede determinar el vapor consumido a través de la ecuación 2.10.

2.2.3.3. Metodología para el cálculo del ahorro de combustible.

Se calcula el ahorro estimado de combustible por la diferencia de consumo en la estación de limpieza actual y la propuesta.

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

$$\eta_{caldera} = \frac{m_{vapor} \cdot (H_{final} - H_{inicial})}{m_{combustible} \cdot (VCS + Q_{físico})} \quad (2.13)$$

Donde:

$\eta_{caldera}$: Eficiencia de la caldera (76%)

$m_{combustible}$: Masa de combustible. [kg/camp]

H_{final} : Entalpía de vapor saturado final. (665,87kcal/kg)

$H_{inicial}$: Entalpía de vapor saturado inicial. (89,96kcal/kg)

$Q_{físico}$: Calor físico. (20,25kcal)

VCS: Valor calórico superior. (9600kcal/kg)

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

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

2.2.3.4. Metodología para el cálculo del ahorro de sosa caústica.

• Consumo de sosa actual.

El ahorro se determina por la diferencia de consumo de sosa caústica al 100% en ambas situaciones.

El cálculo del consumo actual de sosa al 100% se puede determinar por la siguiente ecuación:

$$Sosa_{total}(100\%) + Agua(0\%) = Mezcla_{sosa-agua}(2,5\%) \quad (2.14)$$

Donde:

$Sosa_{total}$: Sosa suministrada al tanque madre al 100%. [m³]

$Agua$: Agua suministrada al tanque para disolver la sosa. [m³]

$Mezcla_{sosa-agua}$: Disolución de sosa lista para la limpieza al 2,5%. [m³]

• Consumo de sosa después de la modificación de la estación.

La determinación del consumo de sosa al 100% una vez modificada la estación de limpieza tecnológica se puede calcular según el balance de masa definido en la siguiente ecuación:

$$Sosa(100\%) + Agua(0\%) + Sosa_{recup}(1,4\%) = Mezcla_{sosa-agua-s.recup}(2,5\%) \quad (2.15)$$

Donde:

$Sosa$: sosa suministrada al tanque madre al 100%. [m³]

$Agua$: Agua suministrada al tanque para disolver la sosa. [m³]

$Sosa_{recup}$: Sosa recuperada con el enjuague con una concentración por encima de 0,8%. [m³]

$Mezcla_{sosa-agua-s.recup}$: Disolución de sosa lista para la limpieza al 2,5%. [m³]

Para el cálculo de la recuperación de sosa presente en el agua de enjuague que contenga una concentración por encima de 0,8% de sosa, se estima un 75% del flujo total como valor representativo y se puede determinar por la expresión siguiente:

$$Sosa_{recup} = 75\%(Consumo_{sosa} + Consumo_{a.e}) \quad (2.16)$$

Donde:

$Consumo_{sosa}$: Consumo de sosa en la limpieza tecnológica. [m³]

$Consumo_{a.e}$: Consumo de agua en el enjuague. [m³]

El consumo de sosa en la limpieza se determina por la ecuación siguiente:

$$Consumo_{sosa} = q \cdot t \quad (2.17)$$

Donde:

$Consumo_{sosa}$: Consumo de sosa en la limpieza de los equipos a recuperar. [m³]

q : flujo de la solución de limpieza. [m³/min]

t : tiempo de alimentación de sosa a los equipos a recuperar. [min]

El consumo de agua de enjuague ($Consumo_{a.e}$) se puede calcular de igual modo que el consumo de sosa según la ecuación 2.17. Donde el valor del flujo será igual pero la alimentación de agua se hace durante un mayor periodo.

2.2.3.5. Metodología para el cálculo de ahorro de agua.

Si los kilogramos de vapor consumido en la estación de limpieza equivale a una misma cantidad consumida de m^3 de agua suave, podemos determinar el ahorro de la misma teniendo el valor de vapor consumido por la estación. Por tanto el ahorro de agua suave para alimentar a la caldera se obtiene por la siguiente expresión:

$$m^3 A_{agua\ suave} = kg A_{vapor} \quad (2.18)$$

Donde:

$m^3 A_{agua\ suave}$: m^3 de agua suave ahorrada en la alimentación a la caldera. [$m^3/camp$]

$kg A_{vapor}$: kg de vapor ahorrado en la estación de limpieza. [$kg/camp$]

El enjuague final debe de realizarse con agua potable; para el caso del pre-enjuague, la calidad del agua es obviamente secundaria, dado que este pre-enjuague o primer lavado únicamente sirve para eliminar la mayor cantidad de material orgánico dentro del sistema.

Por tanto si la calidad del agua del enjuague final es buena, puede utilizarse para el pre-enjuague del siguiente ciclo.

Después de la segunda utilización, el agua debe ser descargada al drenaje, dado que la carga orgánica es elevada.

El consumo actual de agua de preenjuague se puede determinar por la ecuación 2.17:

$$Consumo_{a.p} = q \cdot t$$

Donde:

$Consumo_{a.p}$: Consumo de agua en el preenjuague. [m^3]

q : Flujo de agua. [m^3/min]

t : Tiempo de preenjuague. [min]

La recuperación de agua disponible para un próximo preenjuague es el resto del enjuague de la limpieza con una concentración de sosa por debajo de 0,8%, dado que esta agua contiene restos de sosa, el preenjuague será más eficiente.

El volumen de agua recuperada disponible para el preenjuague se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

$$Agua_{recup} = 25\%(Consumo_{sosa} + Consumo_{a.e}) \quad (2.19)$$

Toda el agua que se recupera para reutilizarla en un próximo preenjuague representa el ahorro de agua que se extrae del manto.

2.2.4 Metodología para la evaluación económica de la propuesta.

Se determinan costos, ahorro económico, inversión para implantar la opción y el plazo de recuperación de la misma.

Se realizan los cálculos en los que se demuestra el beneficio económico que representa para la empresa y el país la solución propuesta en cuanto al ahorro de combustible, agua y sosa caústica. Teniendo la cantidad de *fuel oil*, agua y sosa caústica que se ahorra y conociendo el precio actual de cada uno ellos se calcula en valores, el ahorro total.

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

Todos los cálculos anteriores se realizan sobre la base de una campaña regular con duración de 250 días y la limpieza tecnológica se realiza dos veces al día, definido por los técnicos de la industria. Se utilizan las siguientes ecuaciones:

Costo de combustible.

$$Costo_{comb} = m_{comb} \cdot pup \quad (2.20)$$

Donde:

Costo_{comb}: costo de combustible ahorrado. [\$/camp]

m_{comb}: masa de combustible ahorrado. [t/camp]

pup: precio unitario del producto (*fuel oil*). [\$/t]

Costo de agua suave.

$$Costo_{agua} = m_{a.s} \cdot pup \quad (2.21)$$

Donde:

Costo_{agua}: costo de agua ahorrada. [\$/camp]

m_{a.s}: masa de agua en valores. [m³/camp]

pup: precio unitario del producto (agua suave). [\$/m³]

Costo de agua.

$$Costo_{agua} = m_{agua} \cdot pup \quad (2.22)$$

Donde:

Costo_{agua}: costo de agua ahorrada. [\$/camp]

m_{agua}: masa de agua en valores. [m³/camp]

pup: precio unitario del producto (agua). [\$/m³]

Costo de sosa cáustica.

$$Costo_{a.s} = m_{sosa100\%} \cdot pup \quad (2.23)$$

Donde:

Costo_{a.s}: costo de sosa cáustica (100%) ahorrada. [\$/camp]

m_{a.s}: masa de sosa cáustica en valores. [t/camp]

pup: precio unitario del producto (sosa cáustica). [\$/t]

Ahorro total.

$$At_{valores} = At_{comb} + At_{a.s} + At_{agua} + At_{sosa} \quad (2.24)$$

Donde:

At_{valores}: Ahorro total en valores. [\$/camp]

At_{comb}: Ahorro de combustible en valores. [\$/camp]

At_{a.s}: Ahorro de agua suave en valores [\$/camp]

At_{agua}: Ahorro de agua en valores. [\$/camp]

At_{sosa}: Ahorro de sosa cáustica en valores. [\$/camp]

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

$$PRI = \frac{Inversión}{Ganancia} \quad (2.25)$$

Todos los recursos necesarios para llevar a cabo la solución propuesta se detallarán en cantidades con los precios en el mercado según ofertas recibidas, se tendrá en cuenta la mano de obra, los gastos de material y otros para así obtener el valor de la inversión.

2.2.5 Metodología para la evaluación ambiental de la solución planteada.

Se analiza como beneficia al medio ambiente la opción generada.

Mediante la modificación de la estación de limpieza, como se ha mencionado anteriormente, 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 de gases producidos por la generación de vapor en calderas se tienen en cuenta los valores de factor de emisión para cada uno de los gases, brindados por la ONUDI (Tabla 2.1).

Tabla 2.1: Factor de emisión de contaminantes.

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

Fuente: Manual de producción más limpia para el sector industrial citrícola. ONUDI (2007).

Una vez conocidos los consumos de combustible antes y después de la modificación de la estación de limpieza tecnológica se calculan las emisiones para los dos momentos, con el fin de confirmar el impacto ambiental positivo que trae consigo la propuesta.

Se determinan las emisiones a la atmósfera, a partir de la ecuación siguiente:

$$Emisión = Combustible_{consumido} \cdot Factor\ de\ emisión \quad (2.26)$$

El valor de la reducción de las emisiones para cada gas contaminante será la diferencia de las emisiones antes y después de la modificación.

Capítulo III: Cálculo y evaluación de la opción de PML

En este capítulo se expone la descripción actual de la estación de limpieza tecnológica de la UEB y se presenta la propuesta hecha a la misma como opción de Producción Más Limpia. Para darle cumplimiento a cada uno de los objetivos propuestos en la investigación, según los diferentes métodos de trabajo descritos en el capítulo anterior, se evalúa la selección de la bomba a utilizar, se calculan los consumos de vapor para ambas situaciones descritas, se determinan los ahorros que la propuesta genera, se exponen las ventajas económicas y medioambientales de la misma y además se analizan los resultados obtenidos.

3.1. Descripción de la estación de limpieza tecnológica actual.

El anexo 1 representa la estación actual de limpieza tecnológica.

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 sosa cáustica a temperaturas entre 70 y 80°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.

Es necesario tener permanentemente el depósito de soluciones concentradas listo. Para la preparación de la sosa y su calentamiento existen tres tanques de 3000 litros 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.

Para que esta estación garantice la limpieza tecnológica con dicha solución a la temperatura óptima (70°C - 80°C) se requiere un aumento de temperatura por encima de los 80°C, ya que debido a la distancia que existe entre esta área y la de producción y la ausencia de aislante en las tuberías, las pérdidas de calor son considerables, por lo que actualmente se recomienda elevar la temperatura por encima de la requerida, de lo contrario la limpieza no será eficiente. (Ver anexo 1)

El ciclo de limpieza de los evaporadores de jugo (TASTE) para un trabajo eficiente del mismo y para mantener las condiciones de higiene debe ser cada 12 horas y por paradas prolongadas de más de 3 horas. 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 litros 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 litros.

Cuando no se detecte residuos de jugo en el agua de enjuague, limpiar con sosa con una concentración del 2 - 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 by-pass 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 (20000L) 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.

Se procede a limpiar según los pasos siguientes:

Enjuagar con agua el tanque que se vació, limpiar con sosa a 70 - 80°C y 2 - 4% el tanque durante 20 minutos. En este tiempo se debe garantizar la limpieza de la recirculación.

Enjuagar bien con agua durante 15 - 20 minutos hasta que el laboratorio confirme que no hay sodio en el agua de enjuague. Enjuagar la recirculación para evitar que quede resto de sosa en cualquier tramo del sistema. Para limpiar el tramo de la recirculación es necesario conmutar la válvula de recirculación.

Se establece que cada vez que termine un lote ese tanque debe limpiarse, manteniéndose la continuidad del proceso echándole producto al otro tanque. Las soluciones de limpieza deben ser desechadas por la llenadora para que estas queden limpias de igual forma y se debe cerrar la misma frecuentemente, hasta asegurarse que quede bien limpio el by-pass de la bomba de producto. Hay que cerciorarse que se enjuaga bien.

Las llenadoras se limpian desde el tanque, recorriendo el mismo circuito que el jugo concentrado. Se enjuaga el tanque por la tubería de condensado que se conecta a la línea de presión del sistema y de esta a la placa que distribuye a los diferentes tanques por las duchas.

Las soluciones de limpieza hacen el recorrido del producto y se botan por las llenadoras.

-Preenjuague: 10 minutos

-Sosa: 15 - 20 minutos a 70 - 80°C y 2 - 4% de concentración, desde la línea de preparación de la sosa previamente analizada en el laboratorio.

Enjuague 15 - 20 minutos (el tiempo suficiente para eliminar cualquier residuo de sosa que pudiera quedar en el sistema). Comprobar con el laboratorio la calidad del enjuague.

La limpieza de los tanques de estandarización para néctares y jugos naturales y de la línea de jugo simple y néctares congelados se realiza cuando se termine de producir y la línea de extracción no enviará más jugo para la línea de Jugo Simple, desde la centrifuga (en el caso de la naranja) o desde la línea como tal, el operador debe enjuagar con agua hasta los tanques, limpiándose todo después. Esta limpieza garantiza higienizar el tramo de tubería desde la centrifuga hasta los tanques de 10 000 litros.

La limpieza a realizar es según la situación que exista en la línea de producción, se trata que todas las mañanas exista un tanque vacío para limpiar el sistema. El sistema se le llama a los intercambiadores, tanque intermedio de producto pasteurizado y llenadora.

Estos tanques se pueden limpiar solos, drenándolos por el fondo. Si la producción es continua se limpia cada 12 o 24 horas (según se determine en las diferentes etapas de la campaña y es el especialista en calidad quien lo determina) y si la producción es discontinua se limpia cada vez que termine un lote de la siguiente forma:

Abrir las válvulas manuales de los tanques de alimentación.

Pasar según corresponda cada una de las soluciones de limpieza. Sosa previamente lista en cuanto a temperatura y concentración de 15 a 20 min. Enjuagar con condensado durante 10 minutos o hasta que no haya residuos de sosa, comprobando con fenolftaleína.

Cuando el sistema esté limpio y haya pasado 2 o 3 horas sin producir, antes de comenzar se debe enjuagar con condensado a través del tanque pulmón, y cuando se decida estar sin producir Jugos Simples durante varios días se debe limpiar el sistema completo una vez al día para mantenerlo bien limpio.

En ningún caso se puede dar como limpio el tanque si no se ha utilizado en el sistema de limpieza propio del tanque, además debe cerciorarse de las partes que no se limpian (chimenea, bordes de las tapas hacerlo de forma manual, así como la parte exterior de los mismo).

El tanque colector debajo de los tanques de 10000 litros debe limpiarse manualmente.

Cerciorarse siempre que todos los tanques queden cerrados.

Para la limpieza de la línea de producción de celdillas y tanques de producto se drena toda el agua a las atarjeas.

Cuando terminen los preenjuagues se conecta el codo de la recirculación hacia el tanque en la placa y después se confirma carga de sosa.

Cerciorarse que la válvula que alimenta de sosa al sistema esté abierta y la que se encuentra en el área de sosa y alimenta esa línea también. Cuando falten 5 minutos del conteo del tiempo de la sosa debe limpiar el by-pass, cerrar la llenadora para que este se abra. Cuando termina de pasar sosa el programa entra en enfriamiento, debe cerciorarse de que la bomba de agua de torre se encuentre en funcionamiento para que la temperatura baje más rápido por debajo de 50°C.

Al terminar los tiempos previstos para enjuagues termina la limpieza.

Se debe revisar los tanques y volverlos a enjuagar por si quedara restos de sosa en los mismos. Después se adiciona desinfectante por 5 minutos.

La limpieza de la línea de producción de jugo aséptico comienza con preenjuagues. Luego se carga de sosa asegurándose que la válvula que alimenta la sosa al sistema esté abierta y la que se encuentra en el área de sosa y alimenta esa línea también.

Cuando el nivel en el tanque de producto esté aproximadamente en 70% hay que esperar que se eleve la temperatura de la sosa. Cuando pase el tiempo de la sosa comienza el enfriamiento de la misma y después los enjuagues. Al terminar los tiempos previstos para enjuagues termina la limpieza.

La limpieza de las líneas de extracción se realiza en cada banda independientemente. Después de terminar de procesar la fruta, pasar agua por 5 minutos (para ello abrir las válvulas correspondientes: salida agua del tanque de agua y sobre la plataforma abrir la válvula que envía hacia extracción; abrir la válvula de 3 vías que entrega sosa a esta línea. Es preferible pasar el agua de enjuague a una temperatura de 45°C. Apagar la bomba, abrir la entrada al terminador para drenar toda el agua del colector. Cierre la entrada al terminador y bombear del tanque de solución de detergente caliente (70 - 80°C) durante 15 o 20 minutos (los extractores continúan en marcha). Parar la bomba, abrir la entrada al terminador para drenar el colector. Cierre el terminador y bombear agua limpia por 5 minutos para enjuagar los extractores. Apagar la bomba, y abrir nuevamente entrada al terminador para drenar el agua. Apagar los extractores.

La limpieza de las centrífugas se realiza siguiendo las siguientes instrucciones:

Las centrifugas de jugo se ponen a funcionar 10 minutos antes de proceder a la limpieza alimentándolas con agua y haciéndole varias descargas con el fin de enjuagarla.

Se organiza el ciclo de limpieza poniéndose de acuerdo con el Jefe de Línea para hacerlo junto con la limpieza de la línea, alimentar la solución de limpieza por el mismo recorrido del jugo, también así el enjuague. Garantizar que se le pase sosa a 70 - 80°C por un tiempo entre 15 y 20 minutos, después enjuagar y que al terminar el enjuague no haya contaminación de sosa en el agua (hacer el análisis al agua de enjuague en el laboratorio). El ciclo de limpieza es cada 24 horas, siempre que la línea pare y sea posible y se hace manual cada 6 meses.

Cuando la centrifuga desaceitadora se encuentre desaceitando jugo de naranja se limpiará a través del tanquecito chiquito del tamizador # 4, cuando se limpie la línea por el mismo recorrido del jugo, cuidar siempre que se cumpla con la limpieza del tramo de tubería que lleva el jugo hasta los tanques de jugo simple de 10 000 litros, en coordinación con el operador de esa línea. Los enjuagues serán de esa misma forma, con abundante agua y chequear la presencia de restos de sosa con la fenolftaleína.

Cuando las centrifugas deslodadoras de emulsión de aceite y centrifuga desaceitadora ESD 130 se halle deslodando se enjuaga haciéndole varias descargas (3 o 4) durante 10 minutos. Llenar el tanque que alimenta a las deslodadoras con sosa al 2 - 4% y a 70 - 80°C, desde los parabólicos, también se enjuagará por esta vía. Limpiar con sosa entre 15 y 20 minutos hacer varias descargas (3 o 4). Enjuagar hasta que no haya contaminación de sosa en el agua de enjuague. El ciclo de limpieza es cada 24 horas y siempre que la línea pare.

Los filtros rotatorios se limpian cuando se limpie la línea, para aprovechar la sosa que pueda caer en el sinfín de aceite que descarga en los tambores, de esta forma también se bombea hacia los parabólicos y se limpian las bombas de emulsión y las tuberías. Durante el procesamiento se puede también enjuagar con la manguera de agua dura para evitar que se tupan y aumenten las pérdidas de aceite.

Se procede al desarme de las centrifugas pulidoras y a la limpieza manual de sus componentes una vez al mes, previa coordinación con el área de mantenimiento.

El tambor de las centrifugas de aceite (deslodadora y pulidora), debe desmontarse una vez al mes para efectuar una limpieza manual y aprovechar para el mantenimiento, preferentemente debe realizarse los domingos. Esta tarea debe coordinarse previamente con la dirección.

No usar cepillo metálico, ni ningún raspador de metal para limpiar los platos ni el tambor.

La limpieza para el terminador de jugo se realiza una vez al día como mínimo cuando se realice la limpieza de la línea de extracción, cambio de frutas, etc. Se enjuaga con agua caliente durante 5 o 10 min. (Con el equipo funcionando). Pasar solución de sosa caliente (70 - 80°C) 2 o 4 %, durante 5 a 10 minutos. Se enjuaga con agua caliente de 5 a 10 minutos. Con el equipo parado se destapa y con manguera a presión y cepillo se elimina la pulpa o partículas de frutas que pueden haber quedado pegadas en la malla del equipo. Enjuagar y cerrar.

Limpiar los tanques colectores de jugo, placas de cambio y los codos, cerciorándose de que queden tapados y los codos que no se utilizan no estén en el piso. Una vez terminada la limpieza el operador chequea el estado exterior de los equipos y tuberías que no queden sucios, ni manchados.

La línea de procesamiento de frutas tropicales se preenjuagará con agua fría aplicándola en el tanque 2. Cuando el sistema quede enjuagando se pone en marcha la bomba de sosa y comienza a llenarse el tanque 2 con sosa, recircular hasta alcanzar la temperatura de limpieza, cuando esto ocurra la válvula de recirculación conmutará hacia la salida para permitir limpiar el tamizador y la tubería de salida. Al terminar de pasar sosa se puede proceder al enjuague del sistema con agua fría aplicándola al tanque 2.

Con el objetivo de no consentir que se obvien los parámetros de temperatura en la producción al realizar la limpieza no se ponen en marcha la mesa de selección ni los equipos que la preceden. Al poner en marcha la bomba de sosa hasta que la temperatura sea la adecuada para la limpieza el sistema se mantiene en recirculación, cuando la alcance, la válvula de salida conmuta hacia el tamizador permitiendo la limpieza de este, la bomba de salida y la tubería.

Para la limpieza del evaporador de frutas tropicales existe una placa para toda la línea, a esta le llega agua dura (abrir la válvula) y sosa, (poner la bomba del área de preparación de la sosa y abrir la válvula), pasar según corresponda cada una de las soluciones de limpieza. Sosa previamente lista en cuanto a temperatura y concentración de 15 a 20 minutos. Enjuagar con condensado durante 10 minutos o hasta que no haya residuos de sosa, comprobando con fenolftaleína.

3.2 Descripción de la estación de limpieza tecnológica propuesta.

El anexo 2 representa la modificación propuesta a la estación de limpieza tecnológica.

En dicha modificación los insumos a emplear son:

- Agua, agente alcalino y agente ácido.
- Bombas de distribución.
- Intercambiador de calor a placas.
- Vapor.
- Tuberías de acero inoxidable.
- Válvulas.
- Codos.
- Placas de cambio.
- Tanques para almacenar solución de soda cáustica
- Tanque para almacenar solución de soda cáustica recuperada.
- Tanques para agua fresca.
- Tanque para almacenar agua recuperada.

Se propone que una vez que los tres tanques disponibles para la preparación de sosa se encuentren llenos y con la concentración requerida (2 - 4%) de dicha solución, se precaliente hasta una temperatura aproximada a los 50°C. Luego debe ser bombeada desde estos tanques hasta un tanque pulmón existente de 5000L ubicado en el área de congelado.

Para garantizar el trasiego de sosa desde el tanque pulmón hasta los equipos tecnológicos a limpiar, se propone instalar una bomba centrífuga en desuso existente en la fábrica tipo **Alfa Laval Flow LKH-25** con las siguientes características técnicas:

Capacidad nominal: 20 m³/h.

Hb: 40m.

NPSH: 2m.

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 utilizar un intercambiador de calor a placas tipo M10-MFM con un área de superficie de 3,52m², dicho equipo existe en la UEB y actualmente se encuentra en desuso. Con el apoyo de la figura del anexo 6 se propone fijar un valor de trabajo óptimo de temperatura,

ya que es posible observar 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, por ello, para una concentración de solución caústica entre 2,5% y 3% se fija una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ lo que garantiza eficacia y economía de uso. 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 lleva hasta una placa de cambio (Ver anexo 3) donde por mediación de codos se conecta a las tuberías de alimentación de los procesos tecnológicos que permite disminuir los tiempos ya que se pueden limpiar varios de ellos a la vez. El recorrido de las soluciones de limpieza por cada equipo tecnológico en las distintas líneas de producción no difiere del actual.

Según se haga precisa la recirculación de agua de preenjuague o enjuague a las líneas de producción, esta se bombeará con una bomba a instalar desde los tanques de almacenamiento hasta un tanque pulmón de agua situado junto al de sosa. Desde este tanque el agua debe ser bombeada a los procesos, para ello se utiliza la placa de cambio que admite el enjuague de varios procesos a la vez.

La limpieza de los evaporadores, los tanques de estandarización de jugos concentrados y las llenadoras puede hacerse de forma consecutiva, actualmente las soluciones de limpieza son vertidas atarjea a la salida de la llenadoras.

Se propone recuperar la solución de sosa y el agua de enjuague empleada en la limpieza de los equipos anteriormente mencionados conectando una tubería a la salida de las llenadoras. El fluido que contenga una concentración de sosa por encima de 0,8% se recupera y envía a un tanque existente de 30000 litros donde es almacenado para luego aumentarle la concentración hasta 2,5 % y reutilizarla bombeándose hasta los tanques de preparación y precalentarla. La concentración de la solución caústica recuperada promediada en el tanque tendrá un valor alrededor de 1,4% ya que el enjuague comienza a salir con una concentración de 2%. Una vez que la concentración de sosa se encuentre por debajo de 0,8% se envía a otro tanque también existente de 30000 litros para almacenarla y luego utilizarse como agua de preenjuague bombeándose con otra bomba a instalar hasta el tanque pulmón de agua (Ver anexo 2). La desviación de la solución de limpieza según la concentración de sosa en el agua de enjuague, se hará haciendo uso de un control automático.

De la selección de los controladores automáticos necesarios a implementar en la modificación de la estación de limpieza se debe encargar el personal del departamento de automatización de la UEB. Actualmente solo se puede recuperar las soluciones de limpieza utilizadas en estos equipos porque cada tanque de estandarización cuenta para su descarga con una bomba y tubería independiente, lo cual permite que se puede estar sacando producto de uno, mientras otro se va limpiando y recuperando las soluciones de manera tal que el producto nunca se pone en contacto con la solución sódica. En el resto de los casos existe una bomba para varios tanques, por lo que si se saca producto de alguno de ellos y otro se limpia, las soluciones de limpieza se deben drenar a la atarjea sin poderse recuperar.

3.3. Cálculos necesarios.

3.3.1. Evaluación de la bomba a emplear para el trasiego de sosa desde el tanque pulmón hasta las líneas de producción.

Con el objetivo de comprobar si la bomba existente es adecuada se realizan cálculos de mecánica de fluido que demuestren su factibilidad.

El sistema está compuesto por:

- Tanque en desuso que antes se encontraba a disposición en otra línea en condiciones similares.
- Bomba en desuso que antes se encontraba en funcionamiento en otra línea en condiciones similares.
- Intercambiador de calor que antes trabajaba en otra línea en condiciones similares.
- Tanques de alimentación al TASTE. (Ver anexo 4).

Succión de la bomba:

- Desde la salida del tanque pulmón de solución de sosa de la estación hasta la succión de la bomba, consta de una válvula mariposa de 5°, con un diámetro de tubería de 3 pulgadas, 3 codos 90° estándar, el tanque de 3000L está a la altura de 0,50m y la longitud de la tubería es de 3,50m.

Descarga de la bomba:

- Desde la descarga de la bomba hasta la placa de cambio consta de un intercambiador de calor a placas, 5 codo 90° estándar, dos válvulas mariposa de 5°, una manual y la otra de tres vías para recirculación, el diámetro de la tubería es de 3 pulgadas, y la longitud es de 5m.

- Desde la placa hasta los tanques de alimentación a los evaporadores, consta de dos válvulas mariposa, una placa de cambio, con 2 codos 90° estándar de 3 pulgadas, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas, 6 tanques de 10000L, 10 codos 90° estándar de 2 pulgadas por cada tanque, una altura de 10,43m y la longitud de la tubería es de 54m.
- Desde la placa hasta los tanques de estandarización de jugos concentrados, consta de una válvula mariposa de 5°, con 16 codos 90° estándar de 3 pulgadas, una placa de cambio, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas por cada tanque, 5 tanques de 20000L, una altura de 5,50m y la longitud de la tubería es de 29m.
- Desde la placa hasta las llenadoras, consta con un filtro, 3 cabinas de llenado, una placa de cambio, una válvula mariposa de 5°, con 2 codos 90° estándar de 3 pulgadas, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas, 36 codos 90° estándar de 2 pulgadas, 4 codos de 45° estándar, una altura de 1,80m y la longitud de la tubería es de 33m.
- Desde la placa hasta los tanques de celdillas cítricas y los tanques de estandarización de néctares y jugo simple, consta de 2 válvulas mariposa de 5°, con 2 codos 90° estándar de 3 pulgadas, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas, 4 codos 90° estándar de 2 pulgadas, 2 estrechamiento brusco de 2 pulgadas x 1 pulgadas, 21 codos 90° estándar de 1 pulgadas, 2 tanques de 3000L para celdilla, 3 tanques para jugo simple, dos de 10000L y otro de 5000L, una altura de 5,20m y la longitud de la tubería es de 17m.
- Desde la placa hasta la línea de procesamiento de celdillas cítricas, consta de una válvula mariposa de 5°, con 2 codos 90° estándar de 3 pulgadas, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas, 3 codos 90° estándar de 2 pulgadas, una altura de 2m y la longitud de la tubería es de 17m.
- Desde la placa hasta el tanque de producto de la línea de envases asépticos, consta de una válvula mariposa de 5°, con 2 codos 90° estándar de 3 in, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas, 5 codos 90° estándar de 2 pulgadas, una altura de 4,70m y la longitud de la tubería es de 48,70m.
- Desde la placa hasta la línea de procesamiento de frutas cítricas y centrífugas, consta de 3 líneas, 6 válvulas mariposa de 5°, una te estándar flujo hacia centrífuga, 2 codos 90° estándar de 3 pulgadas, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2½ pulgadas, 12 codos 90° estándar de 2½ pulgadas, un estrechamiento brusco de 2½ pulgadas x 2 pulgadas, una altura de 4,70m y la longitud de la tubería es de 8 m.

- Desde la placa hasta la línea de procesamiento de frutas tropicales y evaporador de frutales, consta de un evaporador, una válvula mariposa de 6°, 2 codos 90° estándar de 3 pulgadas, un estrechamiento brusco de 3 pulgadas x 2 pulgadas, 12 codos 90° estándar de 2 pulgadas, una te estándar flujo dividido a la línea de conservas, una altura de 4,80m y la longitud de la tubería es de 46m.
- Desde la placa hasta la línea de conservas, consta de una válvula mariposa de 60°, una te estándar flujo desde la línea de frutales, una altura de 4,70m y la longitud de la tubería a partir de la línea de procesamiento de frutas es de 2,70m.

Toda la tubería de esta instalación es de acero galvanizado.

De acuerdo a las recomendaciones del fabricante de sistemas CIP "Sanimatic", todos los cálculos relacionados con la capacidad y la carga del sistema deben de realizarse en base al bombeo de agua a 20°C, ya que las variaciones con respecto a las otras soluciones de limpieza del sistema son poco significativas, y cualquier variación es absorbida por el término de la eficiencia de bomba, a la cual se recomienda se le de un valor del 60%.

Para la evaluación de la bomba existente se escoge el tramo desde el tanque pulmón (succión de la bomba) hasta los tanques de alimentación a los evaporadores, (descarga de la bomba), ya que de todas las instalaciones esta es la que se encuentra a una mayor altura y distancia de la estación de limpieza. (Ver anexo 4)

Los datos necesarios se encuentran en el anexo 5.

3.3.1.1. Primer criterio de selección.

El flujo del sistema es de 0,005 m³/s y comparado con el flujo de la bomba (0,0125 m³/s) es menor, por tanto se comprueba el cumplimiento de el primer criterio de selección.

3.3.1.2. Segundo criterio de selección.

Para determinar el área de la tubería de succión y el de la descarga se sustituyen los datos convenientes en la ecuación **2.5**.

Dando como resultados que el área de la tubería de succión es de 0,005m² y la de la tubería de descarga es de 0,002m².

Dada el área y el flujo volumétrico se puede determinar la velocidad del fluido en ambas secciones de tubería por la ecuación **2.4**.

La velocidad en la tubería de diámetro igual a 0,078m es 0,87m/s y la de diámetro igual a 0,052m es 1,93m/s.

Con los datos necesarios se determina el régimen del fluido y se calcula el número de Reynolds según la ecuación 2.3.

$$Re_{succ} = \frac{998,2kg/m^3 \cdot 0,078 m \cdot 0,87m/s}{0,001009Pa \cdot s}$$

$$Re_{desc} = \frac{998,2kg/m^3 \cdot 0,052 m \cdot 1,93m/s}{0,001009Pa \cdot s}$$

Con la sustitución de los valores obtenemos un Re de 67382 en la tubería de succión y un Re de 100020 en la de descarga, por lo que se afirma que el régimen del fluido es turbulento, ya que a Reynolds mayores de 4000 se presenta este tipo de flujo, por tanto:

$$\alpha_1 = 1$$

Con los valores de diámetro de la tubería (d), rugosidad en tubos (e) y el número de Reynolds, se busca el factor de fricción (f) en la figura 3.9 página 89 (Rosabal, 2006).

Tabla 3.1 Factor de fricción en las tuberías del sistema.

	Descarga	Succión
e/d	0,0016	0,0024
f	0,0220	0,0252

Fuente: Elaboración propia.

Con la sustitución de los valores en la ecuación 2.2 se obtienen los valores de las pérdidas por fricción en tuberías antes y después de la bomba.

Datos:

L 1 (antes de la bomba).....	3,5	m	d=0,078 m
L 2 (después de la bomba – antes de la placa).....	5,0	m	d=0,078 m
L 3 (después de la placa).....	54,0	m	d=0,052 m

Las pérdidas por fricción en accesorios se determinan sustituyendo los valores de la ecuación 2.6.

Donde el valor de los coeficientes de resistencias locales (k) en correspondencia con los accesorios en la instalación se encuentra en la tabla 3.1 página 102, (Rosabal, 2006) y el coeficiente de resistencia local en correspondencia con el intercambiador de calor a placas se encuentra en Spirax Sarco; Alfa Laval. (2000):

5 válvula mariposa con ángulo de 5°.....	k=0,24
20 codo 90°estándar.....	k=0,75
1 estrechamiento brusco.....	k=0,3
1 intercambiador de calor.....	k=2

Los resultados de las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios calculados se presentan en la tabla a continuación.

Tabla 3.2 Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios del sistema.

Perdidas por fricción	Antes de la bomba (m)	Después de la bomba (m)
Accesorios	0,10	2,03
Tuberías	0,04	4,96

Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas por fricción totales se determinan por la ecuación 2.7:

$$\sum Hf_{totales} = (Hf_{tub} + Hf_{acc})_{antes\ de\ la\ bomba} + (Hf_{tub} + Hf_{acc})_{después\ de\ la\ bomba}$$

$$\sum Hf_{totales} = 7,13m$$

Se analiza la ecuación 2.1 del balance mecánico por términos y se despeja la carga de la bomba obteniéndose:

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

Debido a que las velocidades en la ubicación de los puntos es cero, la presión es la misma en ambos puntos al igual que la densidad y se asume $Z_1 = 0m$, solo se tienen en cuenta los términos de Z_2 y $\sum Hf$. (Ver anexo 4).

Sustituyendo valores quede que la carga de la bomba es **14,55m**.

La carga de la bomba (dato de diseño) es igual a 40 m y la carga de la bomba en la instalación es de 14,55m, comparando estos valores se corrobora que la bomba es apropiada.

3.3.1.3. Tercer criterio de selección.

Las pérdidas por fricción se calculan siguiendo la metodología planteada en el Capítulo II, solo difieren en que no se calcula ningún valor después de la bomba ya que esta no existe en este nuevo balance.

Las pérdidas por fricción representan un valor igual a 0,14m

La presión de entrada a la bomba (P_3) se calcula por la ecuación **2.9**, manteniendo los datos de flujo volumétrico, diámetro de la tubería y accesorios.

Solo cambia la ubicación de uno de los puntos:

- punto #1: ubicado en el nivel del líquido del tanque pulmón de solución de sosa de la estación.
- punto #3: ubicado en la tubería a la entrada de la bomba.

Datos necesarios:

$$P_1 = 101325 \text{ Pa}$$

$$Z_1 = 2 \text{ m}$$

$$Z_3 = 0 \text{ m}$$

$$P_3 = \rho \cdot g \cdot \left[\frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 + \frac{\alpha \cdot (v_1)^2}{2 \cdot g} + H/b - \left(\frac{\alpha \cdot (v_3)^2}{2 \cdot g} \right) - Z_3 - \sum Hf \right]$$

$$P_3 = 998,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot \left[\frac{101325 \text{ Pa}}{998,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} + 2 \text{ m} - \left(\frac{1 \cdot (0,88 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2} \right) - 0,14 \text{ m} \right]$$

Al sustituir los valores se obtiene que P_3 es 119182 Pa.

El $NPSH_{\text{sistema}}$ se calcula a continuación por la ecuación **2.8**, y se compara con el de los datos de chapa de la bomba.

$$NPSH_{\text{sistema}} = \frac{119182 \text{ Pa} - 2334 \text{ Pa}}{998,2 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$NPSH_{\text{sistema}} = 11,94 \text{ m}$$

Una vez obtenido el NPSH de la bomba (2 m), se comprueba que el NPSH del sistema es mayor que el NPSH de la bomba, por lo que se afirma que el tercer criterio de selección se cumple.

Después de realizados los cálculos necesarios se puede afirmar que la bomba en desuso se puede emplear en la implementación de la propuesta hecha al sistema de limpieza tecnológica.

3.3.2. Cálculo de consumo de vapor.

3.3.2.1. Consumo de vapor de la estación de limpieza actual.

En el área de preparación de la solución de sosa, dispuesta para la limpieza de la planta, se realiza un estudio teórico y práctico de la desviación de temperatura presente en los tres tanques disponibles. Una vez tomadas las muestras en diferentes turnos de trabajo se tienen los valores mostrados a continuación:

Tabla 3.3 Temperatura de la sosa en los tanques de preparación.

Muestras	Temp. Tanque 1 (°C)	Temp. Tanque 2 (°C)	Temp. Tanque 3 (°C)
1	85	87	90
2	98	92	96
3	96	91	91
4	96	91	96
5	100	96	101
6	95	98	95
Promedio	95	93	95
Promedio General	94		

Fuente: Elaboración propia.

Después de la realización de las mediciones pertenecientes a cada tanque se observa que las temperaturas se encuentran por encima de lo requerido (70°C - 85°C), lo que representa un mayor consumo de masa de vapor y por ende más combustible. Este consumo de combustible en las calderas de vapor provoca el desprendimiento de CO₂ a la atmósfera y por consecuencia su contaminación, además de implicar un mayor costo.

El calor cedido por el vapor al fluido se calcula por la ecuación **2.11**:

Los tres tanques dispuestos para preparar la sosa tienen una capacidad de 3000 litros cada uno, lo cual representa que en total se puede preparar 9000 litros de solución.

$$Q = 9000kg \cdot 0,97kcal/kg^{\circ}C \cdot (94^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Q = 603340kcal$$

El vapor consumido para calentar la masa de sosa en los tres tanques se determina al sustituir valores en la ecuación **2.10**:

$$m_{vapor} = \frac{603340kcal}{509,16kcal/kg}$$

$$m_{vapor} = 1185kg$$

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; por tanto en una campaña se consumen **592485.66kg** de vapor en la preparación de la solución caústica.

3.3.2.2. Consumo de vapor de la estación de limpieza modificada.

La sosa caústica en los tanques del área de preparación se precalienta hasta 50°C y en el intercambiador de calor a placas se calienta hasta la temperatura requerida (80°C ± 5).

$$Q = 9000kg \cdot 0,97kcal/kg^{\circ}C \cdot (50^{\circ}C - 25^{\circ}C)$$

$$Q = 218250kcal$$

El calor absorbido por la sosa caústica en el intercambiador de calor a placas se determina a continuación:

$$Q = 8970kg \cdot 0,97kcal/kg^{\circ}C \cdot (80^{\circ}C - 45^{\circ}C)$$

$$Q = 305550kcal$$

Debido a las pérdidas de calor en las tuberías se estima un valor para la temperatura de la sosa caústica a la entrada del intercambiador de calor igual a 45°C.

El calor total consumido para la variante es la suma de los dos calores calculados anteriormente, dando un resultado de 523800kcal lo que demuestra que se necesitará menos calor a transferir y por consecuencia menos vapor.

La masa de vapor consumida después de modificada el área de preparación de sosa se determina al sustituir valores en la ecuación **2.10**:

$$m_{vapor} = \frac{523800kcal}{509,16kcal/kg}$$

$$m_{vapor} = 1028kg$$

En una campaña se consumen **514376.62kg** de vapor en la preparación de la solución caústica. Con este resultado se demuestra la disminución del consumo de vapor si la estación de limpieza es modificada como se propone.

3.3.3 Cálculo del ahorro de combustible.

El combustible consumido para la generación de vapor disponible a la estación de limpieza tecnológica actual se determina por la ecuación **2.13**:

$$m_{combustible} = \frac{1185kg \cdot (665,87kcal/kg - 89,96kcal/kg)}{0,76 \cdot (9600kcal/kg + 20,25kcal)}$$

$$m_{combustible} = 101,34kg$$

El combustible consumido para la generación de vapor disponible a la estación de limpieza tecnológica propuesta se determina a continuación.

$$m_{combustible} = \frac{1028kg \cdot (665,87kcal/kg - 89,96kcal/kg)}{0,76 \cdot (9600kcal/kg + 20,25kcal)}$$

$$m_{combustible} = 87,98kg$$

Una vez calculada la masa del combustible consumida para ambas variantes se observa que la modificación de dicha estación trae consigo un ahorro de combustible de 13,36kg por cada vez que se disponga realizar la limpieza tecnológica. Para los cálculos en el año/campaña se ahorra **6679,92kg** de combustible.

3.3.4 Cálculo del ahorro de sosa caústica.

3.3.4.1. Consumo de sosa actual.

La sosa a adicionar actualmente al tanque madre se determinan según la ecuación **2.14**, como se muestra a continuación:

El tanque madre se llenará hasta su máxima capacidad por tanto la mezcla de sosa y agua será igual a 30000L (30m³).

$$Sosa_{total}(100\%) + Agua(0\%) = 30m^3(2,5\%)$$

$$Sosa_{total} \cdot 1 = 30m^3 \cdot 0,025$$

$$Sosa_{total} = 0,75m^3$$

Para convertir este valor en kg se recomienda afectarlo por la densidad de la solución a 30°C.

$$kg Sosa_{total} = 0,75m^3 \cdot 1017,3kg/m^3$$

$$kg Sosa_{total} = 767kg$$

Cada vez que se prepara sosa se necesitarán 767kg del producto puro, que sería lo mismo que 31 sacos aproximadamente.

3.3.4.2. Consumo de sosa después de la modificación de la estación.

Se propone recuperar la sosa consumida en la limpieza del TASTE y de los tanques de estandarización de jugo concentrados, la alimentación al TASTE dura 10 minutos y a los

tanques de estandarización 7 minutos, pasado este tiempo comienza a recircular en el interior de dichos equipos entre 15 y 20 minutos. La recuperación se hace con el enjuague a la salida de las llenadoras, quedando las mismas limpias también.

El consumo de sosa y agua en la limpieza del TASTE y los tanques de estandarización de jugo concentrado se determina por la ecuación **2.17**:

$$\text{Consumo}_{\text{sosa}} = q \cdot t$$

$$\text{Consumo}_{\text{sosa}} = 0,25\text{m}^3/\text{min} \cdot 17\text{min}$$

$$\text{Consumo}_{\text{sosa}} = 4,25\text{m}^3$$

$$\text{Consumo}_{\text{a.e}} = q \cdot t$$

$$\text{Consumo}_{\text{a.e}} = 0,25\text{m}^3/\text{min} \cdot 20\text{min}$$

$$\text{Consumo}_{\text{a.e}} = 5\text{m}^3$$

La sosa recuperada representa el 75% del consumo de sosa en la limpieza más el agua de enjuague y se determina por la expresión **2.16**:

$$\text{Sosa}_{\text{recirc}} = 75\%(4,25\text{m}^3 + 5\text{m}^3)$$

$$\text{Sosa}_{\text{recirc}} = 7\text{m}^3$$

Los kg de sosa al 100% a adicionar al tanque madre se determina por la ecuación **2.15**:

$$\text{Sosa}(100\%) + \text{Agua}(0\%) + 7\text{m}^3(1,4\%) = 30\text{m}^3(2,5\%)$$

$$\text{Sosa} \cdot 1 = 30\text{m}^3 \cdot 0,025 - 7\text{m}^3 \cdot 0,014$$

$$\text{Sosa} = 0,65\text{m}^3$$

Para convertir este valor en kg se recomienda afectarlo por la densidad de la solución a 30°C

$$\text{kg Sosa} = 0,65\text{m}^3 \cdot 1017,3\text{kg}/\text{m}^3$$

$$\text{kg Sosa} = 668\text{kg}$$

La propuesta muestra un ahorro de 99kg de hidróxido de sodio al 100% por cada vez que se prepare la solución de sosa dispuesta para la limpieza tecnológica; si se prepara dos veces al día en una campaña regular de 250 días, representa un ahorro de **49666,08kg/camp** (50ton/camp aproximadamente).

3.3.5 Cálculo del ahorro de agua.

El ahorro de agua suave alimentada a caldera será igual al vapor ahorrado con la modificación de la estación de limpieza tecnológica, por tanto si el vapor ahorrado es de 78109 kg por campaña, el ahorro de agua suave alimentada a la caldera es aproximadamente de **78 m³** por campaña.

La recuperación y reutilización del agua empleada en el enjuague representa un ahorro de agua extraída del manto. Si se determina el consumo de agua de preenjuague actual por la ecuación **2.17** y el volumen de agua recuperada a partir de la ecuación **2.19** se puede determinar el ahorro que representa esta variante:

$$\text{Consumo}_{a.p} = 0,25\text{m}^3/\text{min} \cdot 10\text{min}$$

$$\text{Consumo}_{a.p} = 2,5 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua}_{recup} = 25\%(4,25\text{m}^3 + 5\text{m}^3)$$

$$\text{Agua}_{recup} = 2,3\text{m}^3$$

El uso de este ciclo, reduce el consumo de agua en un **92,5%**. Esta cantidad de agua ahorrada no se extrae del manto por lo que representa un ahorro del recurso natural.

3.4 Evaluación económica de la propuesta.

Teniendo la cantidad de *fuel oil*, agua suave y sosa cáustica que se ahorra y conociendo el precio actual de cada uno ellos se calcula en valores, el ahorro total.

Datos necesarios:

- Precio unitario del producto (pup) del combustible: 787,3\$/t (proporcionado por CUPET)
- pup del agua suave: 0,90\$/m³ (ficha de costo del agua suave elaborada en el departamento de economía de la empresa).
- pup del agua: 0,12\$/m³ (proporcionado por GEAAL).
- pup de la sosa cáustica: 1228,06\$/t (proporcionado por Electroquímica de Sagua).

Para conocer en valores cuanto se ahorra en combustible, agua y sosa cáustica se utilizan las ecuaciones **2.20**, **2.21**, **2.22** y **2.23**:

$$\text{Costo}_{comb} = 6,68 \text{ t/camp} \cdot 787,3\$/\text{t}$$

$$\text{Costo}_{comb} = 5259,10 \text{ \$/camp}$$

$$\text{Costo}_{a.s} = 78,11 \text{ m}^3/\text{camp} \cdot 0,9 \text{ \$/m}^3$$

$$\text{Costo}_{a.s} = 70,30\$/\text{camp}$$

$$\text{Costo}_{a.pre} = 1156 \text{ m}^3/\text{camp} \cdot 0,12 \text{ \$/m}^3$$

$$\text{Costo}_{a.pre} = 138,75 \text{ \$/camp}$$

$$\text{Costo}_{sosa} = 50 \text{ t/camp} \cdot 1228,06\$/\text{t}$$

$$\text{Costo}_{sosa} = 60992,93\$/\text{camp}$$

Sustituyendo los valores anteriores en la ecuación **2.24** se obtiene un ahorro total de **66461,08\\$/camp**.

El monto total de la inversión se describe en la siguiente tabla:

Tabla 3.4: Gastos de la inversión.

Recursos	Unidad medida	de	Cantidad	Precio (u)	Precio (pup)	total
Válvula mariposa DN50 T/T 304	u		3	106,45	319,35	
Válvula mariposa DN80 T/T 304	u		10	205,48	2054,8	
Tubo NW-50 (52x1,5) AISI 304 PUL.EXT	m		130	13,58	1765,4	
Tubo 84x80 (84x2) AISI 304 PUL.EXT	m		12	26,71	320,52	
Codo SOLDAR NW50 304	u		30	6,43	192,9	
Codo SOLDAR NW80 304	u		16	14,28	228,48	
Punta lisa DIN-50 SOLDAR 304	u		10	4,77	47,7	
Punta lisa DIN-80 SOLDAR 304	u		10	11,09	110,9	
Punta roscada DIN-50 SOLDAR 304	u		10	6,7	67	
Punta roscada DIN-80 SOLDAR 304	u		20	15,78	315,6	
Junta DIN-50 VITON	u		10	3,08	30,8	
Junta DIN-80 VITON	u		20	4,62	92,4	
Bomba centrífuga	u		2	4871	9742	
Salario (mano de obra)					2210	
Valor total					17497,85	

Fuente: Elaboración propia.

Los precios de los elementos anteriores se toman según oferta de proveedores.

El plazo de recuperación de la inversión es determinado por la ecuación **2.25**.

Sin tener en cuenta el costo de la implementación de los sistemas de control automáticos, el gasto que requiere esta inversión es de **\$17497,85** y la utilidad media anual que tiene la empresa es de **\$1170855,17**, de manera tal que si se calcula el plazo de la recuperación de la inversión daría un valor tan pequeño que se aproxima al valor nulo, lo cual es propio en empresas que tienen solvencia económica, donde se realizan inversiones o reparaciones por bajo monto.

Otros ahorros no cuantificados son por ejemplo la energía eléctrica, gas licuado e insumos para el tratamiento interno del agua de alimentación en la generación de vapor, además de lo que representa usar muchos elementos que se encuentran en desuso en la industria o en existencias ya adquiridos con anterioridad para otros proyectos.

3.5 Evaluación ambiental de la solución planteada.

Teniendo en cuenta los cálculos realizados anteriormente para conocer el consumo de combustible antes y después de la implantación de la estación y la recuperación del revaporizado, se realiza una evaluación ambiental para evaluar la reducción de emisiones gases a la atmósfera y el consumo de agua en la industria.

Es necesario precisar que estos son gases muy dañinos debido al efecto negativo que provoca en el medio ambiente. Al modificarse la estación las emisiones de estos gases disminuyen como se muestra a continuación.

Datos:

- Densidad (ρ) promedio del *fuel oil* = $984,8 \text{ kg/m}^3$ (proporcionado por CUPET)

Según la Tabla 2.1 (Ver subepígrafe 2.2.5 Capítulo 2) los factores de emisión de estos gases son:

- Factor de emisión del NO_x = $8 \text{ g/L} = 8 \text{ kg/m}^3$
- Factor de emisión del SO_2 = $0,399 \text{ g/L} = 0,399 \text{ kg/m}^3$
- Factor de emisión del CO_2 = $0,6 \text{ g/L} = 0,6 \text{ kg/m}^3$
- Factor de emisión del CO = $2986 \text{ g/L} = 2986 \text{ kg/m}^3$
- Factor de emisión del HC = $0,12 \text{ g/L} = 0,12 \text{ kg/m}^3$

El cálculo de las emisiones de los gases de combustión a la atmósfera se realiza a partir de la ecuación **2.26** mostrándose los resultados en la siguiente tabla:

Tabla 3.5: Emisiones de los gases a la atmósfera.

Emisiones de gases a la atmósfera.	NOx (t/campaña)	SO₂ (t/campaña)	CO₂ (t/campaña)	CO (t/campaña)	HC (t/campaña)
Antes de la modificación	0,38	0,02	0,03	143,03	0,01
Después de la modificación	0,33	0,02	0,02	121,86	0,00
Reducción	0,0567	0,0028	0,0043	21,1713	0,0009

Fuente: Elaboración propia.

También como impacto ambiental positivo se presenta la disminución de consumo de agua, dejándose de extraer del manto 1234,36 m³/campaña, esto equivale al consumo diario de una población de 3526 habitantes, si se considera un consumo de 350 litros per cápita. Este recurso natural es vital y por tanto toda acción que represente menor consumo de agua es importante.

3.6 Análisis de los resultados.

- La velocidad del fluido es de 1,9 m/s lo que asegura la generación de turbulencia en la operación de limpieza. Esta velocidad cumple con las condiciones para poder ser aplicado en el sistema propuesto ya que trabajos de investigación apuntan que una velocidad óptima del fluido debe encontrarse entre 1,3 a 2m/s (Ver anexo 6).
- Según los cálculos de mecánica de fluido la bomba utilizada es adecuada porque cumple con los tres criterios de selección: el flujo de la bomba es de 20m³/h y el del sistema es aproximadamente 15m³/h, o sea el de la bomba es mayor que el del sistema. El valor de la carga de la bomba es 40m y este debe ser mayor o igual a la del sistema, este criterio se cumple porque al calcular en el balance la carga de la bomba esta es menor (14,55m). Con respecto a la carga neta de succión positiva (NPSH) de la bomba esta debe ser menor o igual que la del sistema y así se cumple, debido a que el NPSH de la bomba es de 2m y el del sistema es 11,94m, esto significa que no ocurrirá el fenómeno de cavitación.

- La temperatura de trabajo definida para la solución sódica se encuentra en un valor entre 80 y 85°C. Con este valor de temperatura constante, una velocidad de 1,9 m/s y una concentración de 2,5% de la solución sódica se ahorra gran cantidad de tiempo de limpieza. Una vez que la duración del ciclo de limpieza disminuya y el agente de limpieza y su concentración, temperatura y velocidad estén bien seleccionados y definidos la limpieza es muy efectiva.
- Económicamente el proyecto es factible, los ahorros en valores están en el orden de 209,05\$/campaña por concepto de ahorro de agua. Por concepto de ahorro de *fuel oil*, se ahorran 5259,10\$/campaña y por concepto de ahorro de sosa cáustica al 100% se ahorran 60992,93\$/campaña. En total el ahorro en valores es de **66461,08\$/campaña** trayendo consigo beneficios considerables para la empresa. La inversión a realizar sin tener en cuenta el costo de los controles automáticos necesarios es de **\$17497,85** y debido a que los resultados del balance de la empresa son positivos y que obtiene ganancias anuales en el orden de los **\$1170855,17**, no es necesario calcular tiempo de recuperación, aún cuando se adicione el costo de adquisición y montaje del control automático porque es una empresa solvente que exhibe anualmente utilidades cuantiosas.
- Con la implementación de este trabajo se logra un impacto ambiental positivo porque al disminuir los consumos de combustible fósil y agua, además de reducir la explotación de recursos naturales, se disminuyen las emisiones de los gases de combustión a la atmósfera, que en este caso se reducen **21,1713t/campaña**, fundamentalmente de monóxido de carbono, teniendo en cuenta que estos gases son dañinos, las modificaciones en la tecnología que generen disminución de las mismas son valoradas como impactos positivos para el cuidado y conservación del medio ambiente. También es favorable el hecho de dejar de extraer del manto freático una cantidad considerable de agua, por la importancia que tiene este recurso vital para la vida.

Conclusiones

Una vez finalizada la investigación, la cual ha estado dirigida fundamentalmente a la evaluación de una propuesta de producción más limpia en 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 de PML en la UEB 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 en la modificación es la adecuada, debido a que cumple con los tres criterios de selección establecidos por la bibliografía.
3. Con la implementación de la modificación se dejan de consumir en la campaña 6,7 toneladas de combustible, 50 toneladas de sosa cáustica al 100% y 1234,36 m³ de agua que representa en valores 66461,08\$ por campaña.
4. La propuesta realizada es económicamente factible con un plazo de recuperación de 0,015 años.
5. La modificación simboliza un descenso de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera de 21,17 toneladas por campaña y de explotación del manto freático, representando esto un impacto ambiental positivo.

Recomendaciones

Como resultado de la investigación desarrollada y teniendo en cuenta los diferentes resultados obtenidos, la autora recomienda:

1. Realizar por parte del personal del departamento de automatización de la UEB un estudio detallado que defina los elementos y equipos necesarios que garanticen el control automático necesario en la implementación de la propuesta.
2. Incluir en los gastos de la inversión el costo de adquisición y montaje de los elementos de control automático a emplear en la modificación de la estación de limpieza.
3. Poner en práctica el proyecto de inversión para la implementación de la opción de Producción Más Limpia que se analiza, en el menor tiempo posible para reducir el consumo de insumos, portadores energéticos y la generación de contaminantes al medio ambiente.
4. Hacer extensiva la recuperación de las soluciones de limpieza en el resto de los procesos.

Bibliografía

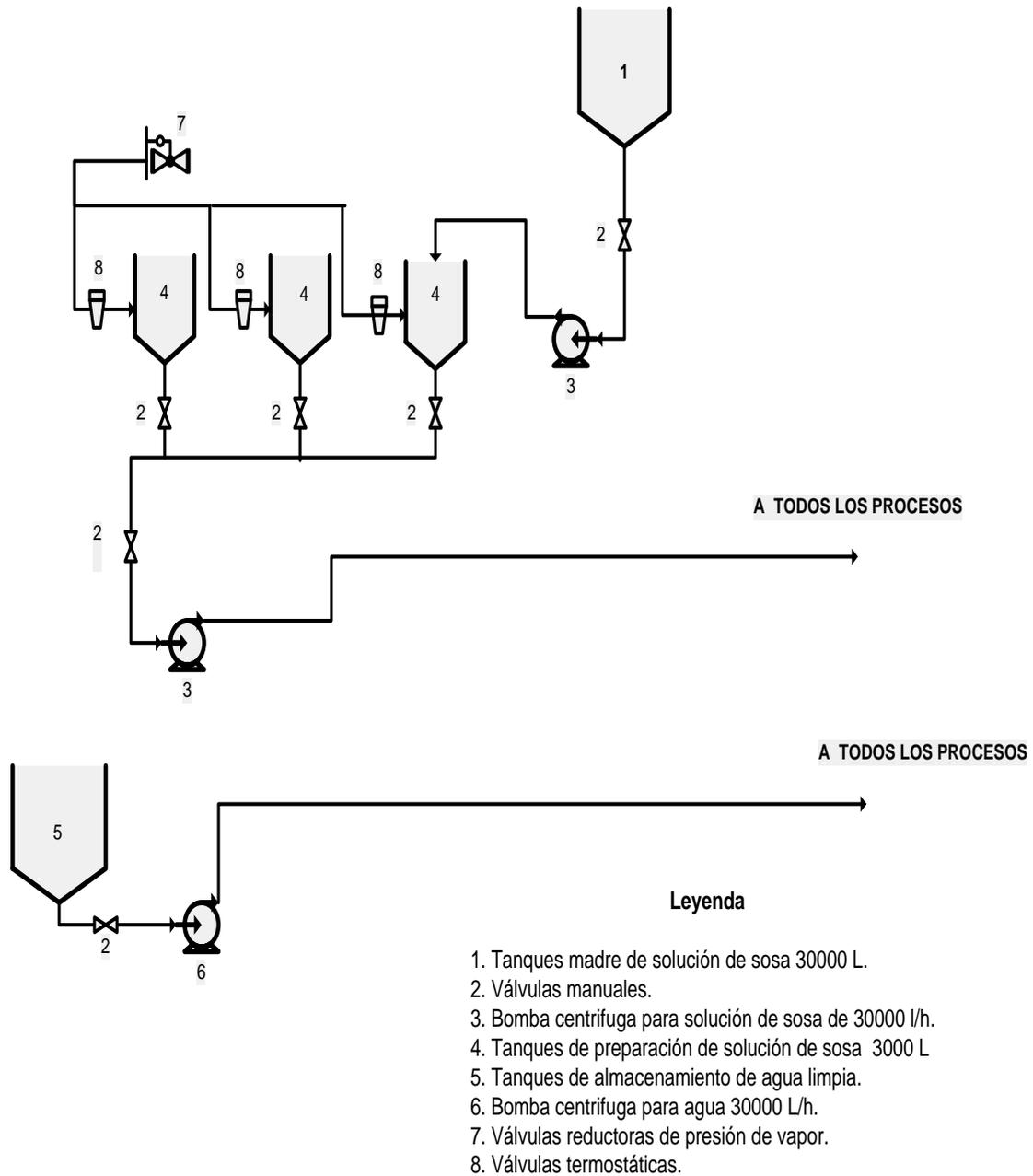
1. *Ainia actualidad*, (2012). “El diseño higiénico en la industria alimentaria, beneficio directo para el medio ambiente”. *Novedades en Alimentación*. [Consulta: Enero 2014] Disponible en: <http://actualidad.ainia.es/web/ainiaactualidad>
2. *Aurum Process Technology*. S.L (2010). “Limpieza CIP”. Disponible en: <http://www.aurumprocess.com/es/productos-y-soluciones/proceso-de-limpieza-cip/proceso-de-limpieza-cip>
3. *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>*
4. Cheremisinoff P.N. (1989). *"Waste Reduction for Pollution Prevention"*, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford.
5. CITMA (1999). Elementos metodológicos para la introducción de prácticas de producción Más Limpia. Documento de trabajo.
6. CITMA (2005). Estrategia Ambiental Nacional 2005-2010. Editorial Academia. La Habana.
7. CITMA (2006). Curso de Formación de expertos en Producción Más Limpia. La Habana.
8. Crespo, Luis. M. (2009). “Reingeniería del Sistema de Limpieza y Sanitización por el Método CIP para las Envasadoras de Bebidas Gaseosas”. Tesis de grado. Guayaquil – Ecuador.
9. Davis M., Cornwell D. (1991). *"Introduction to Environmental Engineering"*. 2ªed. McGraw Hill International Editions, Singapore.
10. Departamento de tecnología. (Revisión 2009a). Descripción del proceso productivo de la empresa de cítricos Héroes de Girón. Empresa de cítricos Héroes de Girón. Documento de trabajo.
11. Estrada Tenaz, Blanca. L (2007). “Análisis técnico-económico de sistemas de limpieza para líneas de producción en la industria de alimentos”. Guatemala.

12. Fraser C. (1991). "*Antiseptics and disinfectants*". In the Merck veterinary manual, 7a edición. Merck and Company, Rahway, New Jersey, 1527-1532.
13. García García-Saavedra, María José. (2003). "Técnicas de descontaminación. Limpieza. Desinfección. Esterilización."
14. GEA Process Engineering Spain, (2014). "*Process Technology*". Disponible en: <http://www.geape.es/gpees/cmsdoc.nsf/WebDoc/webb7r5hj9>.
15. González Roque, Claribel. (2005). "La introducción de conceptos de producción más limpia en la actividad regulatoria ". Centro de Inspección y Control Ambiental. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Cuba.
16. Harutiunian, Miguel. (2009). Edelflex S.A. "Sistema de limpieza CIP (*Clean In Place*)". Disponible en: http://www.edelflex.com/sites/default/files/articulo_edelflex_cip.pdf
17. Hernández, Manuel. (2006). "Producción más Limpia una herramienta para reducir la generación de COP's producidos de forma no intencional". Segundo Foro de Investigación sobre COP's. México.
18. HRS *Heat Exchangers*. Disponible en: <http://www.hrs-heatexchangers.com/es/productos/componentes/intercambiadores-de-calor-de-placas/default.aspx>.
19. Kastner 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.
20. Maiocchi, Marcos. (2002). "Intercambiadores de Calor de Placas 01. Cálculo y selección de equipo".
21. Memoria descriptiva de la Empresa Héroes de Girón, 1980.
22. Mendoza D. (1993). "Manual técnico de limpieza en sitio -CIP-". México D.F. s.e
23. MINAL, (1989). Colectivo de autores.
24. Ministerio de Medio Ambiente de España (2000). Diagnóstico Ambiental de oportunidades de minimización. Editorial Altés.SL.
25. NC 38-00-03:1999 "Principios Generales de Higiene de los Alimentos" Disponible en: <http://www.nconline.cubaindustria.cu>
26. ONUDI. (2007). Manual de producción más limpia para el sector industrial cítrica. Cuba. p 100-102.

27. Orcés, Eduardo. (2003). "Aplicación de la metodología de Producción Más Limpia en una Empresa Alimenticia". Edición Especial ESPOLCiencia.
28. Perkins H.C. (1974). "Air Pollution", McGraw Hill Book Co, New York.
29. Perry's Chemical Engineers' Hand Book. Tomo I. Primera parte.
30. PNUMA - ONUDI, (1994). "Manual de Auditoría y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales", Informe Técnico N° 7, Naciones Unidas, New York.
31. Prévez, Leticia. (2007) Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola. Cuba [Consulta: 15 Enero 2014]. Disponible en: http://www.cp-latin-unido.net/docs-trabajo/et_AI_26.pdf
32. Producción más Limpia. "Conceptos y Beneficios". Disponible en: www.mirahonduras.org
33. Rosabal, J.M. (2006). Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Ciudad de la Habana. Editorial Félix Varela. 2da edición.
34. Sage, Jan (1999). "Ecogranancias, Producción Más Limpia y reducción de desperdicios". 2da edición Volumen 1.
35. Serrano Méndez, Juana. (2006). "Protección Ambiental y Producción Más Limpia". Curso de Universidad para todos. Editorial Academia.
36. Spirax Sarco; Alfa Laval. (2000). Guía técnica para el uso efectivo en los intercambiadores de calor de placa: El vapor y los intercambiadores de calor de placa.
37. Spirax Sarco. (2002). Bombas automáticas para condensado y otros fluidos industriales.
38. Torrecilla González, Omar. (2011) "Limpieza en la industria láctea". Alimentos Rio Zaza S.A. Cuba. Disponible en: www.engormix.com
39. 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 enero 2014]. Disponible en: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/1504093-96.pdf>. 01221701.

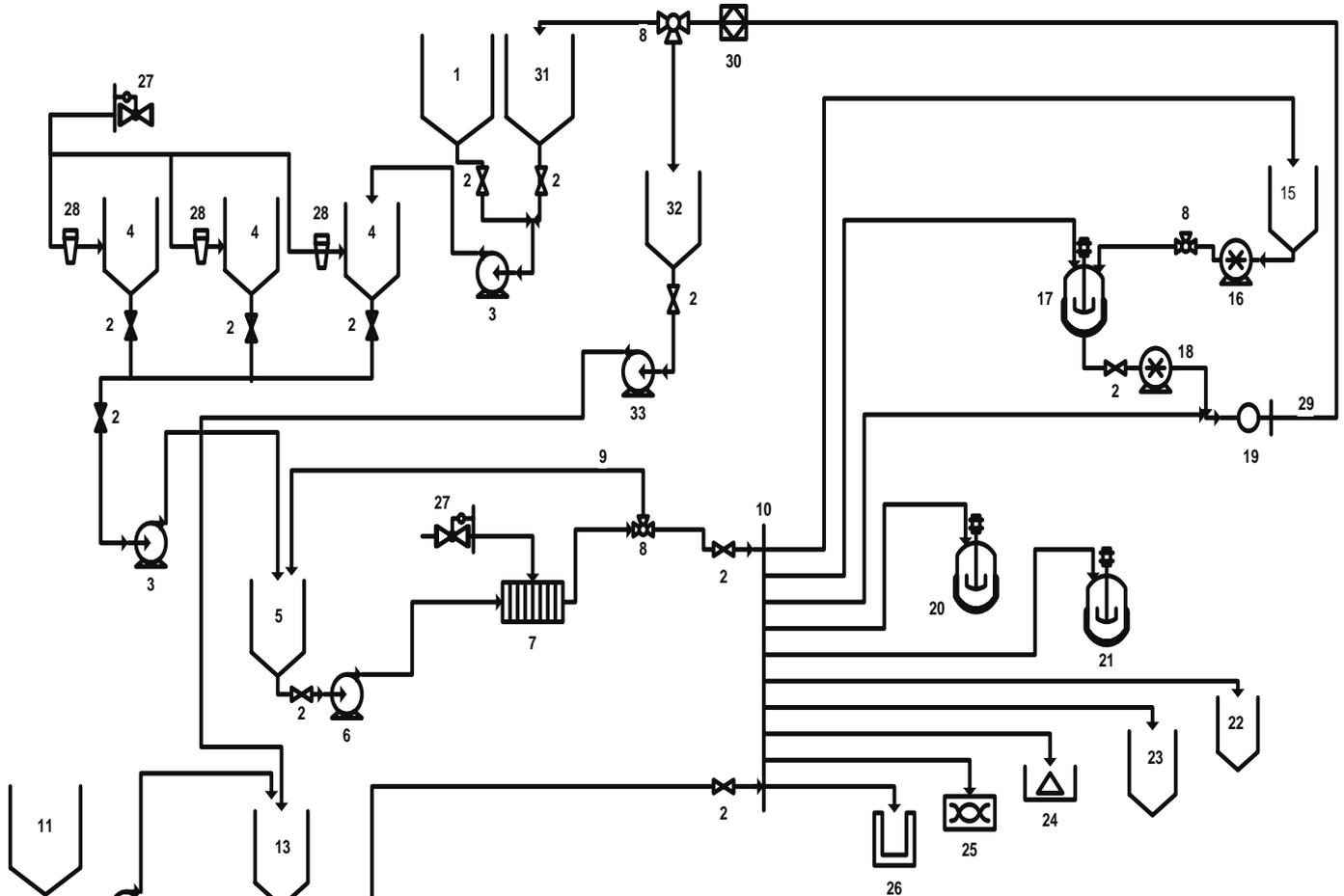
Anexos

Anexo 1: Estación de limpieza tecnológica actual



Fuente: Elaboración propia.

Anexo2: Estación de limpieza tecnológica propuesta

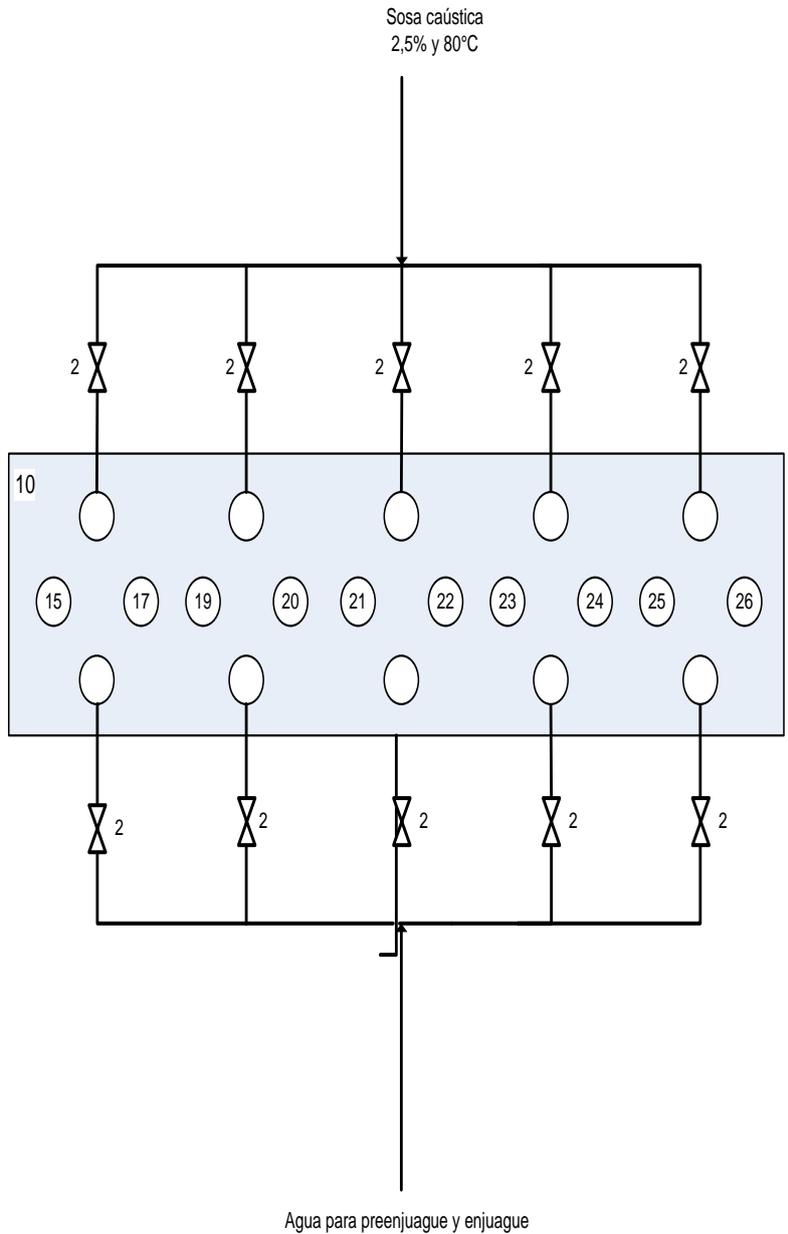


Legenda:

- | | | |
|---|---|---|
| 1. Tanques madre de solución de sosa 30000 L. | 13. Tanque pulmón de agua 5000 L. | 24. Líneas de procesamiento de frutas cítricas y centrifugas. |
| 2. Válvulas manuales. | 14. Bomba centrífuga para agua de enjuague 30000 L. | 25. Líneas de procesamiento de frutas tropicales y evaporador de frutales. |
| 3. Bomba centrífuga para solución de sosa de 30000 l/h. | 15. TASTE. | 26. Líneas de conservas. |
| 4. Tanques de preparación de solución de sosa 3000 L. | 16. Bomba positiva 6 T/h. | 27. Válvulas reductoras de presión de vapor. |
| 5. Tanque pulmón de solución de sosa 5000 L. | 17. Tanques de estandarización de jugos concentrados. | 28. Válvulas termostáticas. |
| 6. Bomba centrífuga para solución de sosa de 45000 L/h. | 18. Bomba positiva 12 T/h. | 29. Tubería de recuperación de la solución de limpieza |
| 7. Intercambiador de calor a placas. | 19. Llenadora. | 30. Conductímetro. |
| 8. Válvula de tres vías para recirculación. | 20. Tanques para Celdillas cítricas. | 31. Tanques de recuperación de solución de limpieza con concentración de sosa mayor que 0.8% (30000 L). |
| 9. Tubería de recirculación de solución sin temperatura de utilización. | 21. Tanques de estandarización para néctares y jugos naturales. | 32. Tanques de recuperación de solución de limpieza con concentración de sosa menor que 0.8% (50000 L). |
| 10. Placa de cambio. | 22. Línea de procesamiento de Celdillas cítricas. | 33. Bomba centrífuga para agua 50000 L/h. |
| 11. Tanques de almacenamiento de agua limpia. | 23. Tanque de producto de la línea de envases asépticos. | |
| 12. Bomba centrífuga para agua 30000 L/h. | | |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Placa de cambio

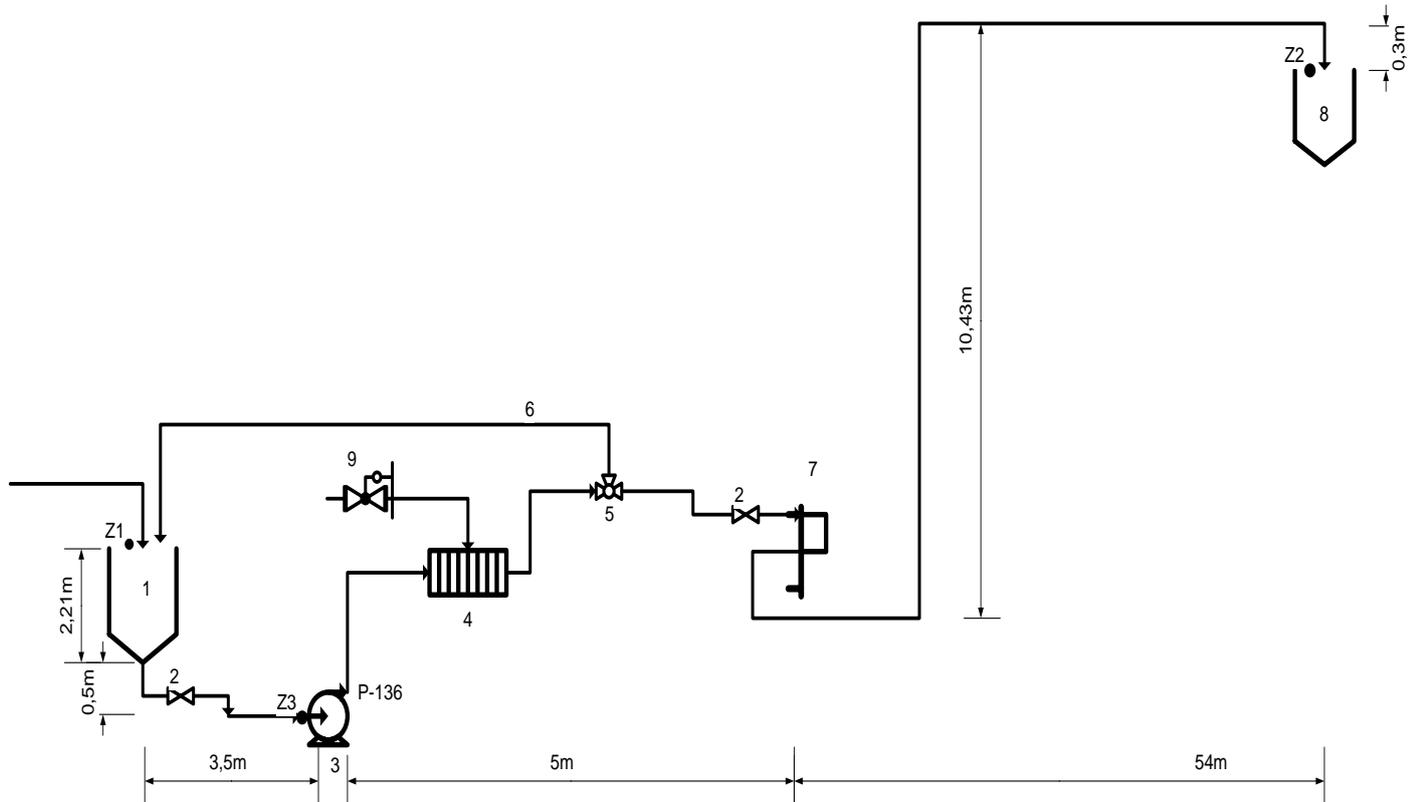


Leyenda:

- 2. Válvulas manuales.
- 10. Placa de cambio
- 15. Entrada al TASTE.
- 17. Entrada a los tanques de estandarización de jugos concentrados.
- 19. Entrada a las llenadora.
- 20. Entrada a los tanques para celdillas cítricas.
- 21. Entrada a los tanques de estandarización para néctares y jugos naturales.
- 22. Entrada a la línea de procesamiento de celdillas cítricas.
- 23. Entrada al tanque de producto de la línea de envases asépticos.
- 24. Entrada a la línea de procesamiento de frutas cítricas y centrifugas.
- 25. Entrada a la línea de procesamiento de frutas tropicales y evaporador de frutales.
- 26. Entrada a la línea de conservas.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4: Diagrama de limpieza de los tanques de alimentación a evaporadores (TASTE)



Leyenda:

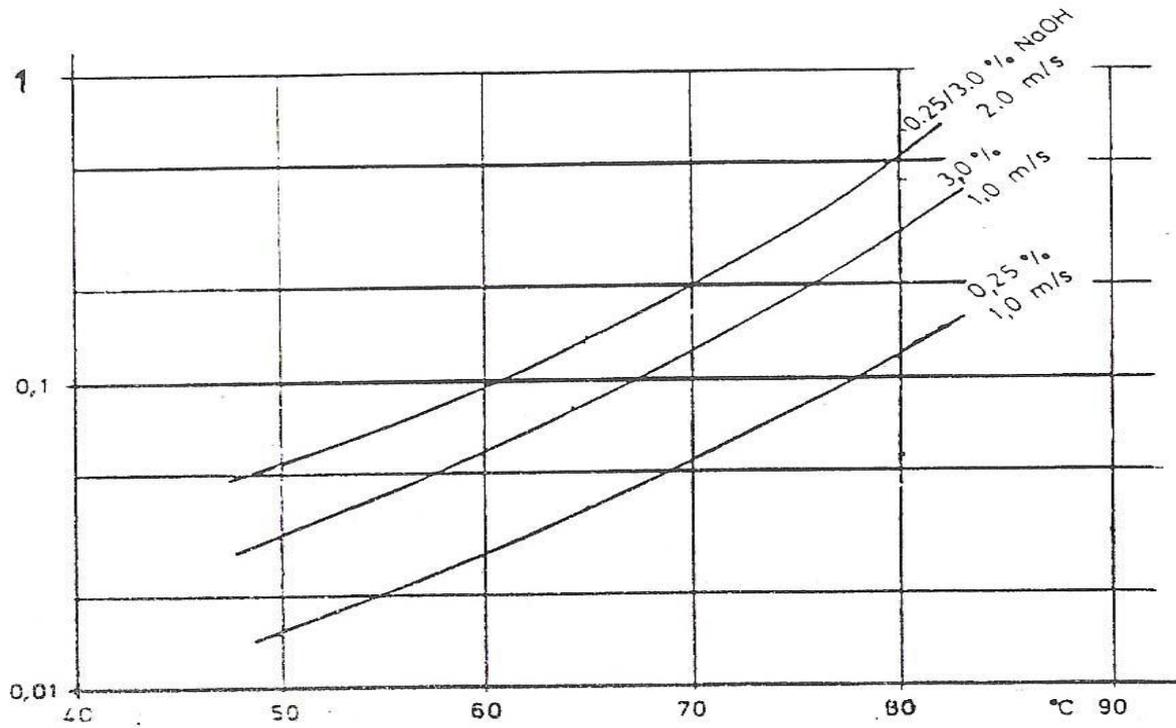
- | | |
|---|---|
| 1. Tanque pulmón de solución de sosa 5000 L. | 6. Tubería de recirculación de solución sin temperatura de utilización. |
| 2. Válvulas manuales. | 7. Placa de cambio. |
| 3. Bomba centrífuga para solución de sosa de 20000 L/h. | 8. Tanque de alimentación al TASTE. |
| 4. Intercambiador de calor a placas. | 9. Válvula reductora de presión de vapor. |
| 5. Válvula de tres vías para recirculación. | |

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5: Datos necesarios para la evaluación de la bomba a emplear en el trasiego de sosa cáustica hasta los tanques de alimentación al TASTE:

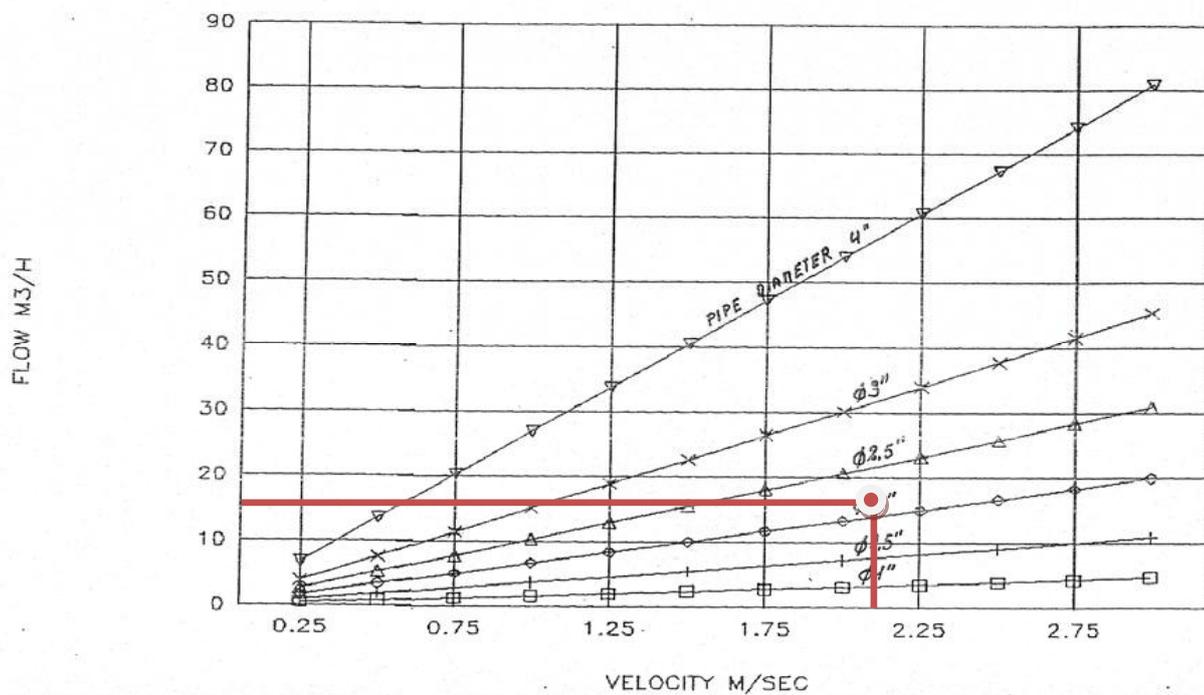
- densidad (ρ) del agua (20°C): 998,2 kg/m³ (Rosabal, 2006). Tabla # 5.
- viscosidad (μ) del agua (20°C): 1,009 cPs= 1,009·10⁻³ Pa·s (Rosabal, 2006). Tabla # 5.
- valor de la aceleración de la gravedad (g): 9,8 m/s².
- flujo volumétrico (q): 15 m³/h= 0,0042 m³/s.
- presión de vapor (20°C): 2334Pa (Rosabal, 2006). Tabla # 16.
- rugosidad en tubos (e): 0,125 mm= 0,0001 m (Rosabal, 2006). Tabla # 9.
- diámetro de la tubería en la succión de la bomba: 3 pulgadas = 77,93 mm= 0,077 m (Rosabal, 2006). Tabla # 10.
- diámetro de la tubería en la descarga de la bomba: 2pulgadas = 52,50 mm= 0,053 m (Rosabal, 2006). Tabla # 10.
- longitud de la tubería de succión 3,50 m.
- longitud de la tubería de descarga 62,5 m.
- constante matemática π : 3,14
- punto # 1: ubicado en el nivel del líquido del tanque pulmón de solución de sosa de la estación.
- $P_1= 101325$ Pa. (Tanque abierto a la atmósfera)
- $Z_1= 0$ m
- punto #2: ubicado en el nivel del líquido en el tanque de alimentación a los evaporadores.
- $P_2= 101325$ Pa. (Tanque abierto a la atmósfera).
- $Z_2= 7,42$ m

Anexo 6: Efecto de la temperatura de la solución de limpieza básica con respecto a la eficiencia del ciclo.



Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio.

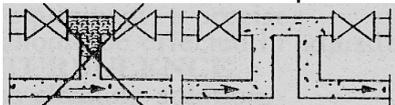
Anexo 7: Relación entre flujo volumétrico y velocidad para diferentes diámetros de tubería.



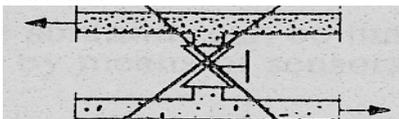
Fuente: Manual técnico de Limpieza en Sitio.

Anexo 8: Reglas básicas para el diseño de un sistema CIP.

1. Las soluciones de limpieza deben de tener contacto con todas las superficies que interaccionan con el producto.



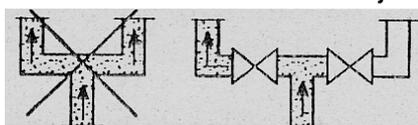
2. Nunca separar las soluciones de limpiezas con el producto por medio de una válvula.



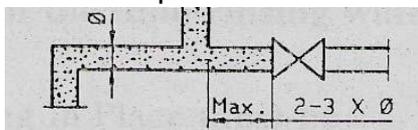
3. El buen diseño del CIP es el resultado de la aplicación de la ley de las "4T"

Temperatura:	Titulación	Tiempo:	Turbulencia:
75°C	1.5%	15min	1,5m/s

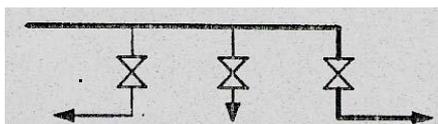
4. Nunca dividir el flujo del CIP en dos corrientes en paralelo.



5. Los puntos muertos no deben de exceder los 2 ó 3 diámetros de tubería.



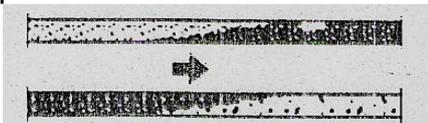
6. La distribución del caudal de las soluciones de limpieza debe de realizarse mediante válvulas.



7. El reutilizar las soluciones del enjuague final para iniciar el lavado del siguiente ciclo reduce el consumo de agua en un 50%.



8. La limpieza debe de realizarse inmediatamente después de finalizar la producción, mientras que la esterilización debe de realizarse antes de la producción.



Fuente: Análisis técnico-económico de sistemas de limpieza para líneas de producción en la industria de alimentos.