

Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química



Tesis presentada en opción al Título Académico de
Máster en Producciones más Limpia

Título: Reutilización del condensado vegetal como agua de alimentación a los generadores de vapor de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

Autor: Ing. Liván González Rodríguez

Matanzas, Cuba. 2020

Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química



Tesis presentada en opción al Título Académico de
Máster en Producciones más Limpia

Título: Reutilización del condensado vegetal como agua de alimentación a los generadores de vapor de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

Autor: Ing. Liván González Rodríguez

Tutoras: Dr.C. Lourdes Yamen González Sáez

Dr.C. Lilian Delia Curiel Lorenzo

Matanzas, Cuba. 2020

Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: LA VOLUNTAD

Albert Einstein

Dedico este trabajo: a mis padres, mi esposa, mis hijos y a todas esas personas que de una forma u otra pusieron su granito de arena para que la realización de este proyecto fuese posible.

Agradezco sinceramente a:

- Mis profesores y especialmente a Lourdes y Orozco por enseñarme a ser mejor como persona y por la paciencia que han tenido conmigo.
- Mis tutoras Lourdes y Lilian por ayudarme, por su preocupación y paciencia.
- A todos los trabajadores de la UEB Combinado Industrial "Héroes de Girón" y en especial al departamento de calidad.
- Mi esposa e hijos.
- Y a todas esas personas que estuvieron presente en la elaboración de este proyecto.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se aplica la metodología de Producción Más Limpia, propuesta por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2006), en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”; Industria que procesa más del 60 % de los cítricos de todo el país para obtener Jugos Concentrados y Naturales, Celdillas Cítricas y otros subproductos de Naranjas y Toronjas. El objetivo de esta investigación es reutilizar el condensado vegetal, proveniente de la concentración de los jugos en los evaporadores, cómo sustituto del agua suave que alimenta los generadores de vapor. La caracterización físico-química del condensado arrojó que solo es necesario ajustar el pH pues su valor (4,2) no cumple con la Norma para uso en generadores de vapor; para ello se estudia el tratamiento químico con hidróxido de sodio para su neutralización. La propuesta técnica proporciona un ahorro de 1 073 578,88 kJ/h de energía y 32,7 kg/h de combustible (47,1 t por campaña), lo que equivale a un aumento de la eficiencia del generador de vapor de 2,05 %. El sistema de flujo que asimilará el flujo de condensado vegetal requiere una carga de bombeo de 33,22 m y una carga de succión neta positiva (NPSH) de 6,73. Se comprueba además que el sistema de flujo instalado satisface los requerimientos de técnicos-operacionales para el aprovechamiento del condensado vegetal al cumplirse todos los criterios de evaluación. Se deja de extraer 23 429 m³ de agua potable del manto freático en cada campaña. La relación beneficio/costo (19,12) demuestra la factibilidad económica de la propuesta.

ABSTRACT

The research uses the Cleaner Production methodology, proposed by the United Nations Environment Program (UNEP, 2006), at the UEB Industrial Combined "Héroes de Girón"; Industry that processes more than 60% of citrus fruits from all over the country to obtain Concentrated and Natural Juices, Citrus Cells and other by-products of Oranges and Grapefruits. The objective of this research is to reuse the vegetable condensate, coming from the concentration of the juices in the evaporators, as a substitute for the soft water that feeds the steam generators. The physico-chemical characterization of the condensate showed that it is only necessary to adjust the pH since its values (4.2) do not satisfy the standard for use in steam generators. For this cause, the chemical treatment with sodium hydroxide for its neutralization is studied. The technical proposal provides a saving of 1 073 578.88 kJ/h of energy and 32.7 kg/h of fuel (47.1 t per season), which is equivalent to an increase in the efficiency of the steam generator of 2,05%. The flow system that will assimilate the vegetable condensate requires a pumping load of 33.22 m and a net positive suction charge (NPSH) of 6.73. It is also verified that the installed flow system meets the technical-operational requirements for the use of vegetable condensate when all evaluation criteria are met. 23 429 m³ of drinking water are no longer extracted from the water table in each season. The benefit / cost ratio (19.12) demonstrates the economic feasibility of the proposal.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	4
1.1 Producción Más Limpia	4
1.1.1 Significado, principios y beneficios de la Producción Más Limpia.....	4
1.2. Metodología de Producción Más Limpia	7
1.3 Características del Agua	14
1.3.1 Agua suavizada, principales usos	16
1.4 Generador de vapor o calderas.....	17
1.4.1 Calidad del agua para alimentar a los generadores de vapor	18
1.4.2 Incrustaciones en el interior de los generadores de vapor	20
1.4.3 Eficiencia térmica de los generadores de vapor.....	21
1.5 Evaporadores en la Industria de Cítricos	21
1.6 Conclusiones parciales	23
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	24
2.1. Fase I. Planeación y organización	24
2.2. Fase II. Evaluación previa o Pre-evaluativa	24
2.3. Fase III. Evaluativa.....	24
2.4. Fase IV. Factibilidad o Síntesis	25
2.4.1. Características físico químico del condensado vegetal.....	25
2.4.2. Agua evaporada de condensado vegetal	25
2.4.3. Eficiencia energética actual del Generador de Vapor	26
2.4.4. Beneficios tecnológicos de la propuesta	28
2.4.5. Evaluación del sistema de bombeo.....	29
2.4.6 Valoración económica de la propuesta	33
2.4.7. Valoración del impacto ambiental.....	35
2.5 Fase V. Implementación.....	35
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
3.1 Compromiso y Organigrama de la UEB	36
3.2 Caracterización de la UEB	37
3.3 Descripción general del proceso de producción de frutas cítricas de la UEB	37
3.4 Desempeño ambiental y problemas ambientales de la UEB	41
3.5 Opción de Producción Más Limpia identificada en el proceso	43
3.6. Evaluación técnica de la propuesta.....	45
3.6.1 Evaluación físico-química del condensado vegetal.....	45
3.6.2 Balances de masa y energía. TASTE y Generador de vapor	48
3.6.3 Balance de energía mecánica. Evaluación del sistema de flujo.....	51
3.7 Evaluación económica de la propuesta.....	57
3.7.1 Agua suave dejada de consumir	57
3.7.2 Combustible dejado de consumir	57
3.7.3 Costo por tratamiento del condensado.....	57
3.7.4 Costos por Inversión.....	57
3.7.5 Amortización de la Inversión	57
3.7.6 Relación Beneficio/Costo	58
3.8 Impacto ambiental	58
3.9 Conclusiones parciales	58
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXOS	

INTRODUCCIÓN

En el quinquenio 1981-1985, el procesamiento industrial de cítricos en Cuba sufrió profundos cambios con la modernización de la capacidad instalada y la construcción de dos grandes combinados industriales con una capacidad de 40 t/h, ubicados en Jagüey Grande en Matanzas y Ceballos en Ciego de Ávila (Nova, 1983).

Al quedar inaugurada la Industria en 1983 ésta contaba con cuatro generadores de vapor marca Sadeca de 8 t de capacidad cada uno. En 1989 uno de estos generadores de vapor es sustituido por otro de 14 t también de la marca Sadeca. En 1997 se daña uno de los generadores de vapor y es sustituido por un generador de vapor más potente de 16 t marca Valtec-Umisa. Ya en el año 2001 es sustituido otro generador de vapor de 8 t por uno de 16 t de la marca Valtec-Umisa.

En 1990 se instaló el evaporador tipo TASTE GUMACO brasileño de 6 t y en el 2005 se instala otro de la marca FOMESA de 6 t de origen español. En el 2006 y 2007 se montan dos líneas de llenado aséptico, el consumo de cada uno es equivalente a un evaporador TASTE. Actualmente está contratada una línea de frutales que entre su equipamiento incluye un evaporador TASTE, por lo que la demanda de vapor se irá incrementando paulatinamente.

En Cuba, la Red Nacional de Producción Más Limpia (RNPML) fue establecida por la ONUDI en mayo del 2001 (Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola, 2009). En el 2004 la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” se inserta en ella y es cuando se comienza a recuperar el condensado vegetal que originan los concentradores de jugos TASTE. El agua proveniente de la condensación de vapores vegetales obtenidos en el proceso de concentración de jugo se reutiliza en el proceso de limpieza de tanques, ultra filtro, columnas de resinas, lavado de cáscara y en la extracción de sólidos solubles de la pulpa proveniente del *finisher* de jugo (Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola, 2009). Una gran parte de este condensado vegetal va al manto freático por no constar con las condiciones establecidas para poder aprovecharlo en otras tareas.

La construcción de esta Industria abarca un área de 12 ha con 30 000 m² techado. Fue un proyecto concebido entre el Gobierno cubano y la firma española EMEX S. A, la cual envió a Cuba todo el equipamiento técnico adquirido en diferentes países a través de IMEXPAL (Empresa Cubana Importadora y Exportadora de Plantas Alimentarias, sus Complementos y Derivados) (Mederos y Abreu, 2007).

En 1990, tras una exitosa cosecha y aprovechando el crédito que había sido otorgado con anterioridad por los países socialistas, el Combinado acometió reparaciones por más de 2 millones de pesos para elevar el procesamiento de 500 a 800 t (Caprobello, 1998).

La concentración del jugo genera alrededor de 200 a 300 L agua/t fruta procesada, y en los primeros efectos del evaporador de quintuple efecto, el agua de condensado alcanza una temperatura de aproximadamente 60 °C que puede ser utilizada en diferentes procesos tales como la alimentación de los generadores de vapor.

Para obtener una buena calidad del vapor y asegurar una larga vida del generador de vapor éste debe ser alimentado con agua previamente tratada. Tratar esta agua tiene un costo adicional que no se incurriría si se utilizara condensado vegetal. Los parámetros de calidad de estas aguas y su alto contenido energético permiten sustituir el agua suave sin efectos colaterales (Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola, 2009).

El uso de los portadores energéticos durante el procesamiento industrial de cítricos, su influencia en la emisiones a la atmósfera y los elevados precios actuales de los combustibles constituyen las razones para lograr un manejo eficiente de los mismos y reducir uno de los principales gastos para la UEB (Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola, 2009).

Los generadores de vapor de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” trabajan con una temperatura del agua de alimentación de aproximadamente 28°C. Esto requiere entalpía adicional de saturación del agua. Cuando aumenta la presión del generador de vapor, la temperatura de saturación aumenta y necesita más entalpía antes de que el agua de alimentación alcance la temperatura de ebullición. Estos dos efectos reducen la

producción real de vapor en el generador ya que hay menos combustible disponible para producir vapor (Valtec- Umisa, 2001).

Es necesario entonces reducir el consumo de energía, tanto en el proceso de desmineralización y bombeo, como en el combustible quemado, y aprovechar la capacidad energética de los condensados en los generadores de vapor.

Según lo anterior se plantea como **Problema Científico:**

¿Cómo aprovechar el condensado vegetal para la mejora técnica, económica y ambiental de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”?

Hipótesis:

Si se reutiliza el condensado vegetal que se genera en la etapa de procesamiento de frutas cítricas, se podría lograr un aumento de la eficiencia, un ahorro de combustibles y del recurso natural agua en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”.

Objetivo General:

Reutilizar el condensado vegetal para la alimentación a los generadores de vapor en el procesamiento de frutas cítricas de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

Objetivos específicos:

- Proponer una opción de PML para el aprovechamiento del condensado vegetal en la alimentación a los generadores de vapor.
- Evaluar las características físicas-químicas del condensado vegetal para su reutilización.
- Evaluar técnica y económicamente la opción propuesta.

CAPÍTULO 1. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO

1.1 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, redituando a la Empresa en la disminución en el tiempo de amortización de los equipos (Zeng *et.al*, 2010).

El concepto de producción limpia surge como una estrategia de prevención que las grandes empresas, 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 UEB (Dodíc *et.al.*, 2010; Franco, 2014).

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1992) la producción más limpia (PML) consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integral a procesos, productos y servicios para aumentar la eficiencia general y para reducir los riesgos para los seres humanos y el ambiente. La PML puede ser aplicada a procesos utilizados por cualquier industria, a los productos mismos y a varios servicios ofrecidos en la sociedad. Es un término amplio que comprende conceptos como eco-eficiencia, prevención de contaminación y productividad verde. La aplicación de la PML protege al medio ambiente, al consumidor y al trabajador, mientras mejora la eficiencia industrial, la rentabilidad y la competitividad (Varón, 2013).

1.1.1 Significado, principios y beneficios de la Producción Más Limpia

El significado de la PML se puede traducir en (Serrano *et.al.*, 2006):

- Para los procesos de producción:

- Ahorro de materias primas, agua y energía.
- Eliminación de materiales tóxicos.
- Reducción en cantidad y toxicidad de residuos y emisiones.

-Para el diseño y desarrollo de productos:

- Reducción de impactos negativos a lo largo del ciclo de vida del producto: desde la extracción de la materia prima hasta su disposición final.

-Para los servicios:

- Incorporación de consideraciones ambientales en el diseño y entrega de los servicios.

Bermúdez (2013), Fernández *et.al.* (2015) y Cabello *et.al.* (2015) refieren que la PML posee cuatro **principios** básicos capaces de orientar el sentido de producción a procesos limpios:

- Principio de precaución: tiene como objetivo evitar enfermedades irreversibles para los trabajadores y daños irreparables para el planeta. Así mismo este principio se preocupa de que la producción industrial tenga un impacto social.
- Principio de prevención: consiste en sustituir el control de la contaminación por la prevención de la generación de residuos en la fuente, lo que evita la generación de emisiones peligrosas para el medio ambiente y el hombre, en lugar de remediar los efectos de dichas emisiones.
- Principio del control democrático: considera el acceso a informaciones sobre cuestiones relativas a la seguridad y el uso de procesos y productos, para todas las partes interesadas, incluidas las emisiones y registros de contaminantes, planes de reducción de uso de productos tóxicos y datos sobre componentes peligrosos de productos.
- Principio de integración - visión holística del sistema de producción de bienes y servicios, con el uso de herramientas como la Evaluación del Ciclo de vida del producto (ACV).

La PML tiene como **beneficios** que favorece, en gran medida, el mejoramiento de la conductas ambientales y condiciones de salud y seguridad en las organizaciones, el cumplimiento legal ambiental, la eficiencia de producción, el fortalecimiento de la competitividad empresarial, el mejoramiento de la imagen corporativa ante el sector empresarial y consumidores (Dumke *et.al.*, 2007), además de que promueve diseños amigables acorde a la necesidad de los futuros mercados y permite la generación de valor económico como forma de generar bienestar para la sociedad, lo que genera una posición de ventaja competitiva.

Por otra parte, según Lin *et.al* (2013), Zúñiga-Araya (2014), Van Berkel (2015) y Cardoso *et.al.* (2016) con las opciones de PML se logra la implementación de buenas prácticas orientadas a racionalizar el consumo de recursos, reutilizar los insumos y reemplazar materias primas tóxicas, modificación de métodos de trabajo, rediseño de servicios, incorporación de tecnologías más eficientes y menos nocivas para el medio ambiente, adopción de sistemas de gestión ambiental y el cambio de los modelos de pensamiento con relación a la gestión de los aspectos ambientales en todos los niveles y procesos de la organización.

Asimismo, Henríquez & Catarino (2014) y Eg *et.al* (2010), mediante estudios realizados en pequeñas y medianas empresas, concluyen que la aplicación de la metodología de la PML, generan resultados de carácter económico, ambiental y social, tales como: la reducción y control de costos, incremento de las utilidades a través del uso eficiente de los recursos, reducción del consumo de recursos, implementación de mejores prácticas ambientales, diseño de servicios ambientalmente sostenibles, mejora de las condiciones de salud y calidad de vida de empleados y comunidad, lo que armoniza la relación entre economía y medio ambiente, y coloca las estrategias ecológicas al servicio de los sistemas productivos (Kjaerheim, 2005; Van Hoof, Monroy y Saer, 2008; Freeman *et.al*, 2014; Cabello *et.al*, 2015).

La evidencia empírica confirma que las técnicas preventivas de PML generan beneficios para los entes económicos y el medio ambiente (Molina *et.al.*, 2015 y Cabello *et.al*, 2016)

y que el potencial de implementación de la eficiencia en el uso de los recursos se orienta a la eficiencia en el uso de la energía, el agua, clasificación de residuos y reducción de emisiones y vertimientos; lo que la convierte en la herramienta para disminuir los impactos ambientales, reducir costos, mejorar el desempeño competitivo, la imagen corporativa y la relación con las partes interesadas (Assenova *et.al*, 2016; Wahala *et.al*, 2012; UNIDO & UNEP, 2010).

1.2. Metodología de Producción Más Limpia

El objetivo principal de una evaluación de PML es conseguir la identificación y evaluación de oportunidades para minimizar la producción de todo tipo de residuos y emisiones, y utilizar los recursos del modo más eficiente posible.

Aunque existen diversas metodologías todas se derivan de la desarrollada por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA / IMA, 2003) y la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI). Esta metodología está integrada por cinco fases (aunque puede ser reducida a tres) donde cada una de ellas contempla varias actividades, las cuales se describen a continuación:

Fase I: Planeación y organización.

Fase II: Evaluación previa.

Fase III: Evaluación.

Fase IV: Estudios de factibilidad.

Fase V Implantación.

Fase I: Planeación y organización

- Involucrar y obtener el compromiso de la dirección

El compromiso de la dirección es la fuerza impulsora para el desarrollo de un proyecto de PML, pues implica disponer de recursos materiales, humanos y financieros para lograr los

objetivos deseados y es indispensable para la posterior aplicación de la estrategia de producción más limpia.

- Establecer el equipo conductor del proceso

Todos los departamentos afectados por la evaluación de PML deberán involucrar al menos un representante en el equipo de trabajo. Una vez organizado el equipo deberá conseguir la colaboración de todos los involucrados y en particular de los operarios que por su contacto con los procesos suelen ser fuente de buenas ideas de mejora.

- Definición de objetivos parciales y finales (metas de PML)

En esta fase se definen los objetivos que se quieren alcanzar donde algunos criterios a considerar en su formulación son:

- Efectos en la salud.
- Metodología de disposición final de residuos.
- Incremento en la productividad.
- Emisiones contaminantes al aire, agua y/o suelo.
- Costo por confinamiento de residuos y/o emisiones.
- Condiciones de operación y proceso.
- Costos por consumos de materias primas y energéticas.

- Identificar barreras y soluciones

Las principales barreras que pueden encontrarse son las siguientes:

- Actitud pesimista del personal y de la dirección.
- Falta de comunicación interdepartamental.
- Problemas económicos.
- Carencia de información tecnológica.

Algunas actividades recomendadas para superar las barreras son:

- Sensibilización de los beneficios económicos y ambientales.

- Presentación de estudios de caso de proyectos anteriores y los éxitos conseguidos con ellos.
- Recopilación de innovaciones tecnológicas de otras empresas del mismo sector.
- Presentación de resultados de evaluaciones económicas y ambientales de las actuales condiciones de producción en la empresa.

Fase II: Evaluación previa

- Desarrollo del diagrama de flujo del proceso

En esta fase se especifica el diagrama de flujo del proceso en cuestión en el cual se identifican las distintas unidades y etapas más importantes, así como el origen, circulación y destinos de los productos, subproductos y corrientes residuales originados en la transformación principal y en las demás operaciones de proceso, entre las que se encuentran las recirculaciones internas, los tratamientos aplicados a las corrientes residuales.

- Identificación de las entradas y salidas

Se deben identificar todas las entradas de materias primas y auxiliares, incluyendo agua y energía, y su posición en el diagrama de proceso, así como los flujos o las cantidades acumuladas para el período elegido para poder efectuar los cálculos de balance. Para las evaluaciones económicas habrá que disponer además los precios unitarios correspondientes.

Todas las salidas del proceso también deben ser identificadas. Las salidas incluyen las deseadas, las no deseadas pero inevitables y las evitables o recuperables, calificadas como productos, subproductos, corrientes residuales peligrosas o no y reciclados a un proceso exterior.

- Identificación de los destinos finales

Los destinos finales de todas las corrientes para determinar su idoneidad de acuerdo con las características de las corrientes, los límites admisibles en el punto de destino y las responsabilidades del productor y del gestor externo de residuos. Asimismo, hay que obtener información sobre los costos de disposición.

- Determinación de los niveles iniciales de recirculación interna, de reciclado y de reutilización

Los niveles iniciales de recuperación de materias primas sirven para complementar el análisis del proceso y para su comparación con la situación final después de la aplicación de la PML. Los materiales reciclados a un proceso exterior contarán como una salida. Los materiales reutilizados, como por ejemplo los envases, normalmente contarán por doble partida, como una entrada y una salida de materiales.

- Realización de una inspección visual sobre el terreno

Una inspección visual permite verificar la información obtenida de los archivos. Esta inspección es una primera oportunidad para darse cuenta de las condiciones de operación, mantenimiento y limpieza de las instalaciones. La inspección se hará extensiva a la zona de llegada y salida de transportes, a las zonas de transvase y a los almacenamientos.

Fase III: Evaluación

- Completar los balances de materia y energía

Los balances de materia y energía se realizan según los datos recogidos en el proceso, con el fin de verificar la consistencia de los datos disponibles, averiguar un dato que falta o cuantificar y detectar las áreas donde exista una elevada generación de residuos, un elevado consumo de materias primas y un elevado desperdicio.

Este balance sirve para estimar los costos de operación del proceso o bien determinar las entradas y salidas no cuantificadas.

Los balances realizados alrededor de un equipo donde hay transferencia de masa o energía en alguna forma, y muy especialmente donde existen transformaciones de tipo química, permiten determinar los rendimientos reales. Estos rendimientos se comparan con los teóricos a fin de diagnosticar la eficacia del proceso de equipo y, en su caso, razonar las ineficiencias para poder determinar las medidas a tomar.

- Investigar el potencial de segregación de las corrientes

Bastantes problemas de PML o de tratamiento pueden encontrar una solución más fácil con un tratamiento individualizado de las corrientes. Es particularmente crítico analizar la conveniencia de mezclar corrientes de distinta clasificación. Una corriente inerte mezclada con una tóxica suele convertirse en una corriente tóxica de mayor volumen. Aunque la mezcla es recomendable en algunos casos, tal como: las neutralizaciones de corrientes ácidas con otras básicas, en muchos casos las mezclas convierten problemas individuales más o menos simples en otros de más compleja resolución.

- Evaluar las causas

Una vez obtenido el balance de materia y energía, este debe de ser utilizado como la herramienta básica para proporcionar las respuestas necesarias del ¿Por qué?, ¿Dónde?, ¿Cuándo? y ¿Cuánto? se generan en dichas emisiones y residuos o de cualquier otra situación de interés para el equipo.

Con esta base puede determinarse que variantes hay que cambiar y/o modificar para lograr una adecuada actividad productiva. Estas variables pueden deberse a diversos factores tales como:

1. Causas relacionadas con la materia prima que afecta la actividad productiva:

- Calidad de las materias primas
- Escasez de materiales
- Sistema de administración de compras
- Inadecuado almacenamiento

2. Causas relacionadas con la tecnología:

- Falta de mantenimiento e inadecuada operación
- Mal diseño del proceso o del equipo
- Mala disposición de las instalaciones
- Tecnología obsoleta

3. Causas relacionadas con las prácticas operativas:

- Falta de Personal calificado
- Desmotivación de los empleados

4. Causas relacionadas con los residuos.

- No se tiene un programa de reúso o reciclaje.
- No se tiene una estimación de costos por el concepto de generación de residuos
- Generar opciones de PML

Si se conocen las fuentes de generación de residuos y emisiones; así como también las fuentes de desperdicio de materias primas y energéticas, se inicia la búsqueda de medidas correctivas. Esta generación de opciones será de mayor riqueza si se consideran las sugerencias de todos los miembros del equipo de PML.

Algunas opciones identificadas resultarán de aplicación obvia desde el primer momento, en especial las que sólo implican cambios de gestión, mientras que otras se podrán descartar inmediatamente.

Establecer prioridades en la ejecución de las oportunidades es más importante en cuanto los recursos económicos son limitados. Para establecer prioridades se tendrán en cuenta los límites legales permitidos en las emisiones de todo tipo, los riesgos potenciales, la cantidad de residuos que se originan, el potencial de recuperación, los costos de tratamiento o disposición de los residuos y los recursos disponibles.

- Seleccionar las opciones de PML

Una vez que han sido generadas las opciones de PML, estas deben de ser seleccionadas, de acuerdo a los criterios de factibilidad, costos de implantación y rentabilidad. En esta etapa no deben de eliminarse ninguna opción a menos que sea obviamente NO factible y por último las opciones similares deben de fusionarse.

Fase IV: Estudios de factibilidad

- Evaluación preliminar

Con la finalidad de determinar la factibilidad, técnica, económica y ambiental, las opciones seleccionadas deben de ser sometidas a las siguientes evaluaciones:

- Opciones Técnicas vs. Procedimientos
- Opciones relativamente sencillas vs. Opciones complejas

- Opciones de bajo, medio o alto costo
- Evaluación técnica

En esta evaluación deben de considerarse el impacto que tendrán esas opciones en las tasas de producción, tiempos de operación, adición o eliminación de operaciones unitarias, capacitación adicional y/o cambio de personal.

- Evaluación económica

La finalidad de este tipo de evaluación es determinar si las opciones a implantar son adecuadas en el sentido de dar ganancias a la empresa. El realizar un análisis adecuado de este tipo es vital, ya que de no ser así la opción puede dar lugar a un fracaso económico del proyecto lo cual desalentará cualquier otro tipo de inversión en esta área.

La evaluación económica se hace considerando los criterios de:

- Tasa Interna de Retorno
- Valor Presente y Futuro de la Inversión
- Periodo de Recuperación
- Evaluación ambiental

Este tipo de evaluación está destinada a cuantificar el grado de reducción en la generación de emisiones, residuos, consumo de energéticos, consumo de materia prima etc.

Como criterio de selección debe de darse mayor peso a aquellas opciones cuya implantación, signifique una reducción de alta escala.

- Seleccionar opciones factibles

Una vez realizadas las evaluaciones, la información recopilada para cada opción debe de ser sometida a un proceso de documentación, en el cual se asienten los criterios de evaluación. La forma de seleccionar las opciones a implantar puede hacerse en base a una clasificación por puntos, ponderando cada una de las evaluaciones.

Fase V Implantación

La implantación de PML exige de un plan de aplicación de las PML el cual presenta los resultados de cada etapa y esboza un plan de acción para alcanzar las mejoras identificadas en la empresa, el plan de aplicación debe definir claramente el tiempo, las tareas y las responsabilidades. Esto implica:

- Priorización de la aplicación de las opciones que dependen de los recursos disponibles.
- Preparación de las especificaciones técnicas requeridas, la preparación del sitio, preparación de la documentación para la licitación, etc.
- Asignación de las responsabilidades y preparación de programas de supervisión y revisión.

El plan de mejoras contiene:

- Una descripción detallada de los cambios propuestos.
- Un resumen de costos, beneficios y período de retorno.
- Requerimientos de recursos (trabajo, equipos, materiales, energía).
- Resumen del programa de implementación.
- Objetivos técnicos de funcionamiento e indicadores
- Objetivos financieros de funcionamiento, basados en los objetivos técnicos.

Después de decidir cuales opciones de mejoras serán implantadas, hay que desarrollar los objetivos e indicadores de lo que se va a llevar a cabo para clarificar cuáles serán las expectativas del mejoramiento y como serán medidas.

En resumen, para lograr una aplicación eficiente de la metodología de producción más limpia, se debe contar con el compromiso de la entidad y el apoyo de un equipo de expertos para la tarea, así como conocer bien a fondo el proceso productivo.

1.3 Características del Agua

Según Miralles (2006), el agua ocupa las tres cuartas partes de la superficie terrestre, forma parte de la lluvia, las fuentes, los ríos, lagos y mares. Además, constituye entre el 50

y 70 % de los organismos vivos, se encuentra en los compuestos naturales y en muchos cristales. Es también conocida como el disolvente universal por su tendencia a disolver en distintos grados a casi todos los materiales entre los que se encuentran: los metales, las piedras, la tierra, etc.

Las aguas superficiales y subterráneas presentan un nivel de contaminación mucho más elevado que las atmosféricas y es necesario tratarlas, en la mayoría de los casos, antes de utilizarlas con fines industriales.

Las aguas subterráneas (de manantiales y pozos), disuelven fácilmente muchas sales productoras de incrustaciones (sales de calcio y de magnesio), son por lo general transparentes y no contienen muchos sólidos en suspensión, sin embargo, tienen un elevado contenido de sustancias inorgánicas incorporadas como resultado del arrastre de estas aguas por las diferentes estructuras geológicas del suelo (Miralles, 2006).

Debido a su alto calor específico, el agua tiene un gran uso industrial, tiene una gran capacidad para absorber y transportar calor en sistemas de generación de vapor y sistemas de enfriamiento (Colectivo de Autores, 1982).

El uso final que va a tener el agua, definirá qué impurezas se deberán eliminar para evitar o minimizar los efectos secundarios que ella puede producir.

Fundamentalmente, los tratamientos van dirigidos a la eliminación “total” o parcial de los sólidos disueltos o suspendidos, dependiendo de la calidad de agua que se requiera. La eliminación de estos sólidos se realiza a través de procesos de pretratamiento entre los cuales se hallan: aireación, clarificación, filtración, suavización, desmineralización, etc (LIPESA, 1991).

La composición del agua en cuanto a su contenido de minerales, varía de acuerdo con el tipo de estrato o formación de donde proviene. Los principales minerales que están presentes en el agua son: carbonato de calcio (piedra caliza), carbonato de magnesio (dolomita), sulfato de calcio (yeso), sulfato de magnesio (sales de Epson), sílice (arena), cloruro de sodio (sales comunes), sulfato de sodio y pequeñas cantidades de hierro, manganeso, flúor, aluminio y otras sustancias (Duek, 2014).

Las aguas que contienen grandes cantidades de calcio y magnesio son conocidas como aguas duras. La dureza es un término antiguo y cuyo origen se deriva del uso doméstico del agua para lavar (CONAE, 2008).

La dureza es considerada como la disolución en agua de cationes calcio y magnesio, independientemente de los aniones presentes. Su forma de expresión más conocida y usada es en partes por millón (ppm) como carbonato de calcio (CaCO_3).

Las aguas pueden clasificarse de acuerdo con su contenido de dureza en aguas blandas, ligeramente duras, moderadamente duras y aguas duras.

Los problemas de corrosión y depósitos causados por el agua y sus impurezas están relacionados con los factores siguientes (CONAE, 2008):

- Solubilidad de las impurezas
- pH, acidez y alcalinidad del agua
- Condiciones de oxidación y reducción

1.3.1 Agua suavizada, principales usos

El agua suavizada se utiliza principalmente (Miralles, 2006):

- Para eliminar la producción de “capa de suciedad” formada como resultado de la reacción entre los iones de calcio y magnesio con ácidos de grasa encontrado en jabones en la industria textil, máquinas de lavar, etc.
- Para prevenir manchas antiestéticas en cristalería, espejos, etc.
- Para prevenir formación de sarro en los generadores de vapor, calentadores de agua, planchas de vapor y máquinas de lavar platos, etc.

Uno de los efectos nefastos de la dureza del agua son los depósitos de calcio y de magnesio que se crean en los generadores de vapor de agua, estos minerales producen una escala de residuo que reduce eficacia y la durabilidad del generador de vapor. La solución al problema es atacar el calcio y el magnesio, con la utilización de un ablandador o suavizador de agua (Miralles, 2006).

1.4 Generador de vapor o calderas

Los generadores de vapor son unos equipos en los que se hace calentar agua para producir vapor. El calor necesario para calentar y vaporizar el agua puede ser suministrado por un hogar, por gases calientes recuperados a la salida de otro equipo industrial (ej.: horno), por el fluido refrigerador de una pila atómica, por irradiación solar o por una corriente eléctrica. Cuando el calor es suministrado por un líquido caliente o por vapor que se condensa, se suelen emplear otras denominaciones, tales como vaporizador y transformador de vapor. El sinónimo generador de vapor se emplea de preferencia cuando se habla de calderas de una cierta importancia. Si el generador de vapor propiamente dicho está conectado a otros, de los cuales unos calientan el agua (recalentadores de agua, economizadores) o el aire de combustión (pre calentador de aire), y otros recalientan el vapor (recalentadores), suele denominarse el conjunto grupo evaporador, y la parte del grupo en que se produce la evaporación se llama vaporizador o haz vaporizador. Los equipos que sustraen su vapor al fluido refrigerador de un reactor nuclear (pila atómica), si bien constituyen verdaderos evaporadores o generadores de vapor en sentido amplio de la palabra, se denominan normalmente intercambiadores. Durante su funcionamiento, el generador de vapor propiamente dicho está sometido interiormente a la presión de equilibrio del agua y de su vapor a la temperatura alcanzada. Los otros elementos del grupo recorridos por el agua o el vapor, a partir de la bomba de alimentación (economizador, recalentador), están sometidos casi a la misma presión, pero la temperatura del fluido puede ser inferior o superior a la ebullición (Borroto y Rubio, 2007; Correa, 2008).

La forma del generador de vapor ha evolucionado considerablemente. Los primeros generadores de vapor consistían esencialmente en recipientes cerrados, cuya parte inferior, llena de agua, estaba sometida a la irradiación de un hogar o al contacto de gases calientes. Para obtener, además, grandes superficies de contacto, se construyeron más adelante generadores de vapor con hervidores, situados debajo del cuerpo cilíndrico principal y conectado a éste mediante conductos tubulares. En este sentido ha constituido una nueva etapa la aparición de los generadores de vapor semitubulares, cuyo cuerpo

principal está atravesado por un haz tubular (*Energy Efficiency Handbook*, 1997; Borroto y Rubio, 2007).

1.4.1 Calidad del agua para alimentar a los generadores de vapor

Para obtener una buena calidad del vapor y asegurar una larga vida del generador de vapor éste debe ser alimentado con agua previamente tratada, de acuerdo a las indicaciones que exige la norma UNE sobre calidad del agua para generadores pirotubulares (Valtec-Umisa, 2008).

Es indispensable el cumplimiento de dicha Norma para conseguir una dilatada vida del generador y evitar posibles averías, al mismo tiempo que se asegura una circulación estable del agua y una óptima calidad del vapor generado (Departamento de tecnología, 2015).

La composición del agua que se alimenta al generador de vapor debe ser tal, que las impurezas presentes en la misma se puedan concentrar en un número razonable de veces dentro del sistema, sin que por ello se superen los límites permitidos por el fabricante. Si el agua no cumple este requisito será necesario tratarla para eliminar todas las impurezas antes de utilizarla. Actualmente se están utilizando tratamientos químicos dentro del generador de vapor para evitar estos problemas los cuales están resultando una solución efectiva a la parte económica.

La pureza del agua de alimentación depende tanto de la cantidad de impurezas, así como de la naturaleza de las mismas. La presencia de dureza, hierro y sílice son más importantes por ejemplo que la presencia de sales de sodio. La pureza requerida depende tanto de la cantidad de agua de alimentación que se vaya a utilizar como del diseño particular del generador de vapor (presión de trabajo, grado de transferencia de calor, etc. que puede soportar). Por lo que los requisitos del agua de alimentación pueden variar mucho. Un generador de vapor de baja presión con el agua por fuera de los tubos puede soportar valores de dureza más elevados que una de alta presión, siempre que se utilice un tratamiento adecuado (CONAE, 2008).

Los niveles de álcalis, sales, sílice y fosfatos pueden ser más amplios, aunque siempre dependiendo de la presión de trabajo. En la actualidad, los valores máximos los establece el fabricante de acuerdo con las características del generador de vapor (CONAE, 2008).

En las tablas 1.1 y 1.2 se muestran los valores recomendados de las aguas de alimentación y en el interior de los generadores de vapor.

Tabla 1.1. Valores recomendados para el agua de alimentación al generador de vapor

Presión máxima de servicio en bar	≤ 0,5	> 0,5
Aspecto visual	Transparente, sin color ni sedimentos	
Dureza en mg/L de CO ₃ Ca	≤ 10	≤ 5
Oxígeno disuelto (O ₂) en mg/L	-	≤ 0,2
pH a 20°C	8 a 9	8 a 9
CO ₂ en forma de CO ₃ H ⁻ , en mg/L	≤ 25	≤ 25
Aceites y grasas en mg/L	≤ 3	≤ 1
Materias orgánicas valoradas en mg/L de MnO ₄ K consumido	≤ 10	≤ 10

Fuente: Valtec- Umisa, 2001

Tabla 1.2. Valores recomendados para el agua en el interior de los generadores de vapor

Presión máxima de servicio en bar		≤ 0,5	0,5 < p ≤ 13	> 13
Salinidad total en mg/L	Vaporización media ≤ 40 kg/m ²	≤ 6000	≤ 6000	≤ 4000
	> 40 kg/m ²	≤ 5000	≤ 5000	≤ 3000
Sólidos en suspensión, en mg/L		≤ 300	≤ 300	≤ 250
Alcalinidad total, en mg/L CO ₃ ²⁻		≤ 1000	≤ 800	≤ 600
pH a 20 °C		10,5 a 12,5	10 a 12	10 a 12
Fosfatos, en mg/L P ₂ O ₅		≤ 30	≤ 25	≤ 20
Sílice, en mg/L SiO ₂		≤ 250	≤ 200	≤ 150

Fuente: Valtec- Umisa, 2001

Las especificaciones de calidad de la UEB Combinado Industrial "Héroes de Girón" para las aguas de alimentación de generador de vapor y del interior de estas cuando las mismas están en operación se reflejan en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Especificaciones de calidad del agua de alimentación al generador de vapor (UEB Combinado Industrial "Héroes de Girón")

Características	Agua de alimentación	Agua de generador de vapor
Dureza Total (expresado como CaCO ₃), en mg/L	0 a 5	0 a 5
pH	7 a 9	10 a 11
Sólidos disueltos, en mg/L (máx)	-	3 500
OH ⁻ (alcalinidad de hidróxido)	-	150 a 800

Fuente: PNO: L/6-11, 2015

1.4.2 Incrustaciones en el interior de los generadores de vapor

Las formaciones de incrustaciones en el interior del generador de vapor suelen verse con mayor frecuencia que lo estimado conveniente. El origen de las mismas está dado por las sales presentes en las aguas de aporte a los generadores de vapor, las incrustaciones formadas son inconvenientes debido a que poseen una conductividad térmica muy baja y se forman con mucha rapidez en los puntos de mayor transferencia de temperatura (Borroto, 2005). Por esto, los generadores de vapor incrustados requieren un mayor gradiente térmico entre el agua y la pared metálica, que los generadores de vapor con las paredes limpias (Castellanos, 2007).

Las sustancias formadoras de incrustaciones son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice, esto se debe a la baja solubilidad que presentan estas sales y algunas de ellas como es el caso del sulfato de calcio, decrece con el aumento de la temperatura. Estas incrustaciones forman depósitos duros muy adherentes, difíciles de remover, algunas de las causas más frecuentes de este fenómeno son las siguientes:

1. Excesiva concentración de sales en el interior de la unidad.
2. El vapor o condensado tienen algún tipo de contaminación.
3. Transporte de productos de corrosión a zonas favorables para su precipitación.
4. Aplicación inapropiada de productos químicos.

Las incrustaciones reducen la eficiencia en la transferencia de calor, aumentan dramáticamente la presión del cabezal, además del consumo del combustible. Un generador de vapor libre de incrustación y corrosión proporciona un rendimiento eficiente, lo cual redundará en ahorros en tiempo y dinero en la operación y el mantenimiento de la misma, y por si fuera poco brinda seguridad (CONAE, 2008).

1.4.3 Eficiencia térmica de los generadores de vapor

Según Borroto y Rubio (2007), la eficiencia térmica es el indicador más importante del trabajo de un generador de vapor, ya que caracteriza el grado de aprovechamiento de la energía suministrada, o sea, la parte de esa energía que ha sido transferida al agente de trabajo.

Según *Department of Energy* (2002) y Prieto (2017), sobre la eficiencia térmica de un generador de vapor influyen muchos factores, pero estos pueden englobarse en tres aspectos básicos para obtener una alta eficiencia:

1. La combustión completa del combustible, lograda con una mínima cantidad de aire en exceso.
2. El enfriamiento profundo de los productos de la combustión.
3. La reducción de las pérdidas de calor por radiación y convección al medio circundante.

1.5 Evaporadores en la Industria de Cítricos

En la Industria de cítricos los evaporadores TASTE (*Termo Acceleration Short Time Evaporator*), son los encargados de concentrar el jugo obtenido de la fruta, por el principio termodinámico de reducción de la temperatura de ebullición por enrarecimiento

(vacío) del aire, garantizando un producto de alta concentración, manteniendo el color y la calidad requerida en el mercado. Inicialmente el jugo de frutas tiene un contenido de agua de aproximadamente el 90%, y 10% de sólidos solubles totales o °Brix. (Temas sobre la actividad energética en la industria alimenticia, 2000; Alvarado, 2013).

Los TASTE y otros evaporadores multiefecto de alta temperatura y corta residencia (HTST), surgieron y se empezaron a utilizar después del año 1950. La experiencia de los pasteurizadores HTHS (*Mallority and Heli-coil*) - tubos de pequeño diámetro y temperaturas de hasta 210 °F durante menos de 1 min- demostraron que el cambio de sabor en los jugos estaba correlacionado con el tiempo, así como con la temperatura.

Ralph Cook desarrolló y patentó el evaporador HTHS-más tarde bautizado estáticamente como TASTE, un acrónimo para Evaporador Rápido Acelerado Térmicamente, sin embargo, hoy en día, hay más compañías que poseen licencia para fabricar este equipamiento basado en los diseños originales de Cook, y son: el propio Cook en Florida (EE.UU.), FMC en Parma (Italia), GULMAC en Brasil (recientemente desmantelada) y FOMESA en Valencia (España). Actualmente en el mundo existen más de 100 evaporadores TASTE instalados en plantas de jugo para cítricos (naranja, toronja, mandarina, limón, lima) y otras frutas como: piña, uva, fruta bomba, etc (Alvarado, 2013).

Los evaporadores TASTE pueden definirse como evaporadores de película descendente, de continuo y único paso vertical por los tubos de intercambio, rápidos (permanencia corta del fluido en su interior), de múltiple etapa y múltiple efecto, de alta temperatura, sin recompresión de vapor y alto vacío.

La capacidad de estos evaporadores varía en función del tamaño de la planta de jugo, desde 3000 lb/h hasta 60 000 lb/h de agua evaporada. Las plantas pueden operar a pleno rendimiento durante 20 a 24 h/d con 2 o 3 limpiezas de una hora, con uno o dos turnos (en plantas de mucha producción hasta tres turnos) durante seis meses y aproximadamente 3000 h/a para la producción de concentrado, pero esto podría aumentar de acuerdo al área y país específico. La capacidad de evaporación media de una planta de concentrado es de aproximadamente 40 a 50 t/h. Hay muchos países además de EE.UU., como Brasil,

China, Méjico, Japón, Italia, Australia e Israel, que tienen más de 10 plantas de procesamiento. La mayoría de los países productores de cítrico como Cuba, Sudáfrica, España y Tailandia también poseen plantas de concentrado (Alvarado, 2013).

1.6 Conclusiones parciales

- Las opciones de PML permiten racionalizar el consumo de recursos, reutilizar los insumos y reemplazar materias primas tóxicas, modificación de métodos de trabajo, rediseño de servicios, incorporación de tecnologías más eficientes y mejoras ambientales en todos los niveles y procesos de una organización.
- Los tratamientos del agua van dirigidos a la eliminación total o parcial de los sólidos disueltos o suspendidos dependiendo de la calidad de agua que se requiera.
- Las sustancias formadoras de incrustaciones en los generadores de vapor son principalmente el carbonato de calcio, hidróxido de magnesio, sulfato de calcio y sílice.
- La composición del agua que se alimenta al generador de vapor debe ser tal que las impurezas presentes en la misma no superen los límites permitidos en las normativas, de lo contrario será necesario procesos de pretratamiento para eliminarlas antes de utilizarla en el generador de vapor.
- Un generador de vapor o caldera libre de incrustación y corrosión proporciona un rendimiento eficiente, lo cual redundará en ahorros, tiempo, dinero en la operación y el mantenimiento de la misma, y por si fuera poco brinda seguridad.
- La mayoría de países productores de cítrico poseen plantas de concentrado donde utilizan principalmente los evaporadores tipo TASTE.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se define el procedimiento para proponer y evaluar las opciones de mejoras tecnológicas del proceso de producción de frutas cítricas de la UEB “Héroes de Girón”, según la metodología de PML propuesta por el PNUMA (2006), referida en el epígrafe 1.2

2.1. Fase I. Planeación y organización

- **Compromiso socio-ambiental y organigrama de la Empresa**

La UEB tiene definida su estructura organizacional, así como su compromiso social y ambiental, y su política ambiental en el documento que describe el proceso productivo (Departamento de tecnología, 2015), donde se define además la misión, visión y los objetivos de la UEB. En el compromiso ambiental de la dirección de la UEB participan el Consejo Técnico Asesor, Energético y de Producción.

2.2. Fase II. Evaluación previa o Pre-evaluativa

Esta etapa comprende:

- El compromiso de la institución para poner en práctica el plan de acción y para la búsqueda de la información necesaria para la realización de este trabajo.
- Búsqueda de información para determinar el problema ambiental.
- Caracterización de la Empresa.

2.3. Fase III. Evaluativa

Esta etapa comprende:

- Caracterización del área de estudio.
- Determinación del diagrama de flujo tecnológico.
- Diagnóstico ambiental o identificación de los problemas ambientales.

- Realización de los balances de masa y energía.

2.4. Fase IV. Factibilidad o Síntesis

En esta etapa se identifican la o las opciones de Producción Más Limpia en función de los problemas ambientales identificados, se evalúa técnica y económicamente dichas opciones. El plan de acción con las medidas a tomar para solucionar el problema depende de la aprobación, por parte de la dirección de la Empresa, de la opción técnica propuesta.

2.4.1. Características físico químico del condensado vegetal

Se realiza la caracterización físico químico del condensado vegetal (pH, temperatura y dureza total) en los laboratorios de la UEB. Las mediciones de pH y temperatura fueron obtenidas de forma puntual e *in situs* en la campaña 2017 a 2018.

El pH fue determinado con un pHmetro Philips PW 9418, para lecturas de 0,01 unidades, con electrodo de vidrio e intervalo de temperatura hasta 80 °C. Para la temperatura se utiliza un termómetro digital portátil de sonda PT 100 con un rango de -20 °C hasta 450 °C. La dureza total fue obtenida por el método volumétrico por complexometría con EDTA y como indicador se utiliza el negro de Eriocromo T de la firma MERCK.

Los resultados fueron comparados con los límites máximos permitidos reportados en las NC 827:2012, para validar que el condensado puede ser utilizado como agua de alimentación a caldera.

2.4.2. Agua evaporada de condensado vegetal

Para determinar la cantidad de agua evaporada (A_e) en el proceso de concentración se calcula la capacidad de evaporación de los TASTES (Alvarado, 2013).

$$A_e = J_n \left(\frac{Bx_c - Bx_n}{Bx_c} \right) \quad \text{ec 2.1}$$

$$J_n = m_f * x_f * \eta_e \quad \text{ec 2.2}$$

Donde:

A_e - Flujo de agua evaporada (kg/h)

Jn- Flujo de jugo natural (kg/h)

Bx_c- Brix del jugo Concentrado (°Bx)

Bx_n- Brix del jugo Natural (°Bx)

m_f- masa de frutas (kg)

x_f- fracción de jugo en frutas

η_e- eficiencia de los extractores

2.4.3. Eficiencia energética actual del Generador de Vapor

La eficiencia del generador se determina por el método directo como la relación entre el calor útil y el calor disponible según Rubio (1981, p78):

$$\eta = \frac{Q_u}{\beta * Q_d} * 100$$

ec 2.3

Donde:

η - eficiencia actual (%)

Q_u- calor útil (kJ/h)

Q_d- calor disponible (kJ/kg)

β - Consumo de combustible (kg/h)

El **calor útil** (Q_u) se calcula como:

$$Q_u = Q_{abs \ vSc} + Q_{abs \ vS} + Q_{abs \ vSrec} + Q_{abs \ vSagua \ purga}$$

ec 2.4

Donde:

Q_{abs vSc} – Calor absorbido por el vapor sobrecalentado (kJ/h)

Q_{abs vS} – Calor absorbido por el vapor saturado (kJ/h)

Q_{abs vSrec} – Calor absorbido por el vapor recalentado (kJ/h)

Q_{abs vSagua purga} – Calor absorbido por el agua purgada (kJ/h)

Como en el generador no hay sobrecalentamiento, ni recalentador, y las purgas son menores del 2%, el calor útil queda como:

$$Q_u = Q_{abs\ VSc} = m_v * (h_{vs} - h_a) \quad \text{ec 2.5}$$

Donde:

m_v - flujo de vapor saturado (kg/h)

h_{vs} - entalpía salida del vapor en el generador (kJ/kg)

h_a - entalpía del agua de alimentación en el generador (kJ/kg)

El **calor disponible** (Q_d) se calcula:

$$Q_d = VCI + Q_{at\ c} + Q_{prec\ aire} + Q_{fc} \quad \text{ec 2.6}$$

Donde:

VCI - Valor calórico inferior del combustible (kJ/kg)

$Q_{at\ c}$ – calor de atomización del combustible (kJ/kg)

$Q_{prec\ aire}$ – Calor de precalentamiento del aire (kJ/kg)

Q_{fc} - Calor de precalentamiento del combustible (kJ/kg)

En el generador no se atomiza el combustible, ni se precalienta, y se utiliza el aire en las condiciones ambientales, por lo que el calor disponible se calcula como:

$$Q_d = VCI \quad \text{ec 2.7}$$

De ahí que la **eficiencia actual** (%) de este generador se evalúa:

$$\eta = \frac{Q_{abs\ VSc}}{\beta * VCI} * 100 \quad \text{ec 2.8}$$

Donde:

$$Q_{abs\ VSc} = m_v * (h_{vs} - h_a) \quad \text{ec 2.9}$$

h_{vs} – entalpía del vapor saturado a la presión de trabajo del generador (kJ/kg)

h_a – entalpía del agua de alimentación a la temperatura dada (kJ/kg)

2.4.4. Beneficios tecnológicos de la propuesta

2.4.4.1 Disminución del calor requerido en el generador

La disminución del calor requerido en el generador (Q_{req}) por la utilización del condensado vegetal es:

$$Q_{req} = (Q_{absVSc} - Q_c) * \eta \quad \text{ec 2.10}$$

$$Q_c = m_v * (h_{vs} - h_{ac}) \quad \text{ec 2.11}$$

Donde

Q_c – calor del condensado vegetal (kJ/kg)

h_{ac} - entalpía del agua del condensado vegetal (kJ/kg)

Esto genera un incremento de la eficiencia del generador de vapor.

2.4.4.2 Aumento de la eficiencia energética (Aee) en el generador

El incremento de la eficiencia energética en el generador por concepto de utilizar el condensado de vegetal se determina como:

$$A_{ee}(\%) = \frac{Q_{req}}{\beta * VCI} * 100 \quad \text{ec 2.12}$$

2.4.4.3 Ahorro de combustible

El ahorro de combustible se determina a partir del porcentaje de combustible (A_{comb}) que se ahorraría al disminuir el consumo del mismo, por lo que:

$$A_{comb} = \frac{Q_{req}}{Q_{absVSc}} * 100 \quad \text{ec 2.13}$$

La cantidad de combustible ahorrado (C_a , kg/h) se calcula:

$$C_a = \beta * A_{comb} \quad \text{ec 2.14}$$

2.4.5. Evaluación del sistema de bombeo

2.4.5.1 Cálculo de la carga de la bomba

Para el cálculo de la carga de la bomba se aplica la ecuación de balance de energía mecánica de Bernoulli, según la metodología que se presenta a continuación (Rosabal, 2006; Branan, 2002).

$$\frac{P_1}{\rho_1 * g} + Z_1 + \frac{\alpha_1 * v_1^2}{2 * g} + Hb_s = \frac{P_2}{\rho_2 * g} + Z_2 + \frac{\alpha_2 * v_2^2}{2 * g} + \Sigma Hf \quad \text{ec2.15}$$

Donde:

P_1 : presión en el punto 1, Pa

P_2 : presión en el punto 2, Pa

ρ_1 : densidad del fluido en el punto 1, kg/m^3

ρ_2 : densidad del fluido en el punto 2, kg/m^3

Z_1 : altura en el punto 1, m

Z_2 : altura en el punto 2, m

α : factor de corrección de energía cinética ($\alpha = 1$ para régimen de flujo turbulento, $\alpha = 0,5$ para régimen de flujo laminar)

v_1 : velocidad del fluido en el punto 1, m/s

v_2 : velocidad del fluido en el punto 2, m/s

g : valor de la aceleración de la gravedad, m/s^2

Hb_s : carga del sistema, m

ΣHf : pérdidas por fricción totales, m

A partir de aplicar el balance de energía mecánica (ecuación 2.15) al sistema de flujo se obtiene la carga de la bomba necesaria para el sistema (Hb_s).

2.4.5.2. Cálculo de las pérdidas por fricción (ΣH_f)

Para el cálculo de las pérdidas por fricción totales se considera la suma de las pérdidas por fricción en tuberías (H_{f_t}) y las pérdidas por fricción accesorios ($H_{f_{acc}}$).

Tuberías:

$$H_{f_t} = \frac{f * v^2 * L}{d * 2g} \quad \text{ec 2.16}$$

Donde:

H_{f_t} : pérdidas por fricción total en tuberías, m

f: factor de fricción

v: velocidad del fluido en la tubería, m/s

L: longitud de la tubería, m

d: diámetro de la tubería, m

Para determinar la velocidad del fluido en la tubería y el factor de fricción es necesario los siguientes cálculos:

1. Área de la tubería (A_t , m²):

$$A_t = \frac{\pi * d^2}{4} \quad \text{ec 2.17}$$

2. Velocidad del fluido en la tubería (v, m/s)

$$v = \frac{q_s}{A_t} \quad \text{ec 2.18}$$

Donde q_s es el flujo bombeado en el sistema (m³/h)

3. Número adimensional de Reynolds (Re)

$$Re = \frac{\rho * d * v}{\mu} \quad \text{ec 2.19}$$

Donde:

ρ : densidad del fluido en tuberías a la temperatura de operación (kg/m^3)

μ : viscosidad del fluido en tuberías a la temperatura de operación (Pa.s)

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

4. Factor de fricción: Se determina en la figura 3.9 del Rosabal (2006; p89) a partir del número de Reynolds y de la rugosidad relativa (ε) de la tubería.

$$\varepsilon = \frac{e}{D} \quad \text{ec 2.20}$$

Donde:

e : Rugosidad absoluta (mm). Este valor depende del tipo de tubería (Tabla 9 Rosabal, 2006; p281)

Accesorios

Cálculo de las pérdidas por fricción en accesorios (Hf_{acc} , m)

$$Hf_{acc} = \sum k * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) \quad \text{ec 2.21}$$

Donde:

k : coeficientes de resistencias locales de cada accesorio (Tabla 3.1, Rosabal, 2006; p102)

2.4.5.3 Cálculo del NPSH del sistema

Para comprobar uno de los criterios de selección de la bomba se calcula el $NPSH_s$ por la siguiente ecuación, y se compara con el de los datos de chapa de la bomba.

$$NPSH_s = \frac{P_e - P_v}{\rho * g} \quad \text{ec2.22}$$

Donde:

$NPSH_s$: carga neta de succión positiva del sistema.

P_e : presión de entrada a la bomba (Pa)

P_v : presión de vapor (Pa)

ρ : densidad del fluido a la temperatura de operación (kg/m^3)

g : valor de la aceleración de la gravedad (m/s^2)

Para calcular P_e se realiza un balance de energía mecánica antes de la bomba según la metodología anteriormente descrita.

2.4.5.4 Cálculo del Consumo de potencia (N)

La energía que requiere la bomba para su funcionamiento es conocida como potencia consumida (N) y es calculada por la siguiente expresión:

$$N = \frac{H_{bs} * q_s * \rho * g}{\eta_b} * 100 \quad \text{ec 2.23}$$

Donde

N – Potencia consumida por la bomba (W)

η_b - Eficiencia de la bomba (%)

2.4.5.5 Criterios de evaluación del sistema de Bombeo

Para evaluar el adecuado funcionamiento de la bomba se tienen en cuenta los cuatro criterios imprescindibles para validar el funcionamiento de los sistemas de flujo, teniendo en cuenta la propuesta de P+L:

- $H_b > H_{bs}$
- $q_b > q_s$
- $NPSH_s > 0$
- $NPSH_b \leq NPSH_s$

Donde:

H_b : Carga de diseño de la bomba para el flujo de operación.

q_b : Flujo máximo de diseño de la bomba.

$NPSH_b$: Carga neta de succión positiva de la bomba.

2.4.6 Valoración económica de la propuesta

La factibilidad económica de la propuesta se determina a partir del Método Costo – Beneficio. La relación beneficio-costo (B/C), se obtiene al evaluar el valor actual de los ingresos o beneficios netos (B) por concepto de ahorro de agua suave (A_s) y combustible (F). En los costos se considera la amortización de la inversión (A) de la propuesta y los costos de tratamiento por neutralización (T_n) para el tratamiento del condensado a partir de la siguiente ecuación:

$$\frac{B}{C} = \frac{A_s + F}{A + T_n} \quad \text{ec 2.24}$$

Si la relación B/C es mayor que 1, el proyecto evaluado es económicamente ventajoso.

Beneficios:

- Ahorro de agua suave (A_s)

$$A_s = q_s * C_a \quad \text{ec 2.25}$$

Donde:

q_s : flujo de agua de alimentación al generador (m^3/h)

C_a : costo del agua ($\$/m^3$)

- Ahorro de Combustible (F)

$$F = C_a * pf \quad \text{ec 2.26}$$

Donde:

C_a : Combustible ahorrado (t/h)

pf: Costo del combustible - Fuel Oil (ficha de costo- $\$/t$)

Costos:

- Costo por tratamiento del condensado (T_n)

$$T_n = m_{NaOH} * p_c \quad \text{ec 2.27}$$

Donde:

m_{NaOH} : Dosis de hidróxido de sodio (t/h)

p_c : Precio del hidróxido de sodio (\$/t)

La dosis de hidróxido de sodio (NaOH) necesaria para neutralizar el condensado se calcula según la siguiente expresión:

$$m_{NaOH} = C_{NaOH} * M_{NaOH} * V_{NaOH} \quad \text{ec 2.28}$$

Donde:

C_{NaOH} : Concentración del NaOH (kmol/m³)

m_{NaOH} : dosis del NaOH (kg)

M_{NaOH} : Masa Molar del NaOH (kg/kmol)

V_{NaOH} : Volumen del NaOH (m³)

- Costo de amortización de la Inversión (A)

En la inversión por concepto de instalar el sistema de flujo para el tratamiento químico del condensado vegetal, no se consideran los costos de la bomba utilizada ni de la mano de obra porque se escoge para el sistema de tratamiento la bomba de lavado del nastroprensa existente en la UEB y el trabajo es realizado por la brigada de mantenimiento de la propia unidad.

Inversión (I)

$$I = C_{tub} + C_{acc} + C_{eq} \quad \text{ec 2.29}$$

Donde:

C_{tub} - Costo de tuberías (\$)

C_{acc} - Costos de accesorios (\$)

C_{eq} - Costos de equipos (\$)

Amortización (A)

$$A = \frac{I}{t} \quad \text{ec 2.30}$$

Donde:

A – Amortización (\$/a)

t – tiempo de vida útil (años)

2.4.7. Valoración del impacto ambiental

La valoración del impacto ambiental de la propuesta se basa en los ahorros de recursos naturales (agua y combustible) y el aprovechamiento de corrientes residuales en el propio proceso, lo que se traduce en la reducción de emisiones de gases contaminantes a la atmósfera.

2.5 Fase V. Implementación

La implementación de la propuesta de PML así como plan de acción con las medidas técnico administrativas a tomar para solucionar el problema en cuestión, se desarrollará en etapas posteriores de esta investigación. La decisión de implementar la propuesta de PML y de elaborar e implementar el plan de acción, es potestad de la dirección de la UEB en función de los resultados y los beneficios técnicos ambientales que esta aporta.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizan los principales problemas medioambientales de la entidad objeto de estudio y se presenta una propuesta de opción de Producción Más Limpia que se evalúa de acuerdo a la metodología descrita en el capítulo anterior para finalmente evaluar los resultados obtenidos con dicha propuesta.

3.1 Compromiso y Organigrama de la UEB

El compromiso social y ambiental de la dirección de la UEB aparece reflejado en el Anexo1. La dirección se compromete a usar eficientemente los recursos naturales, materias primas, materiales e insumos; a minimizar y manejar adecuadamente los residuales líquidos, sólidos y emisiones gaseosas; así como a reducir cargas contaminantes emitidas al medio ambiente. Esta proyección se ajusta a la propuesta que se realiza en esta investigación enfocada al mejoramiento del proceso tecnológico, el aprovechamiento de corrientes residuales y la disminución del consumo de portadores energéticos.

El control y seguimiento del programa ambiental se realiza a través del Consejo Técnico Asesor y el Consejo Energético, ambos con frecuencia mensual, y en los Consejos de Producción semanales, esto permite rectificar desviaciones y definir nuevas acciones y plazos, para garantizar el proceso de mejora continua.

Como política ambiental se define que “El capital humano como parte fundamental del proceso, una vez capacitado debe sentirse comprometido a alcanzar altos volúmenes de producción con elevada eficiencia, calidad y ahorro de portadores energéticos, adoptando tecnologías y procedimientos en continuo perfeccionamiento y en correspondencia con la legislación vigente para la preservación medioambiental” (Departamento de tecnología, 2015).

El organigrama de la UEB aparece reflejado en el Anexo 2

3.2 Caracterización de la UEB

El objetivo fundamental de la Empresa es “producir alimentos de la más alta calidad en completa armonía con el medio ambiente, con honestidad y respeto a los clientes”. Sus principales producciones son: los jugos simples congelados y asépticos, concentrados congelados de naranja, toronja y piña, puré concentrado aséptico de mango y tomate. Además, se producen aceites esenciales derivados de la naranja y la toronja, forraje cítrico para alimento animal, puré, pastas, néctares y conservas de frutas tropicales (mango, guayaba y tomate).

La UEB está situada en el centro Sur de la Provincia de Matanzas aproximadamente a 900 m 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 Unidad está compuesto por: al noroeste se encuentra el Batey “El Vivero” de aproximadamente 60 viviendas y también en esa dirección a 1 km la UEB Mercadotecnia y Ventas que constituyen fuentes de contaminación. Al norte se encuentra el Hospital Municipal Iluminado Rodríguez y el Municipio 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.

La UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” de Jagüey Grande en Matanzas fue fundada en en abril de 1983, con un costo de 35 millones de pesos y actualmente procesa alrededor de 400 000 t de frutas cítricas al año para la producción de jugos concentrados, jugos simples y asépticos, y aceite esencial exprimido en frío de naranja y toronja. La misma trabaja durante 10 meses al año con tres turnos de trabajo de 8 horas cada uno y con un total de 534 trabajadores.

3.3 Descripción general del proceso de producción de frutas cítricas de la UEB

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 y se llevan hasta el área de recepción donde se descargan, en este sitio se toma al azar una muestra de veinte unidades independientemente del volumen y la especie, para analizar algunos parámetros

de calidad de las frutas, se determina el °Brix, acidez, índice de madurez, 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, donde las frutas son lavadas con agua tratada con hipoclorito de sodio, el contenido de cloro en el agua tiene que ser de 0,5 a 1,0 ppm para eliminar posibles bacterias o microorganismos presentes en las frutas. El recorrido continúa hasta la tolva de alimentación a la mesa de selección donde son separados 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) y Línea 3 (14 extractores).

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 desechos.

A partir de los jugos y los purés extraídos se obtiene una amplia gama de productos: jugo concentrado congelado, jugo simple congelado y aséptico, puré concentrado aséptico, néctares congelados y asépticos. El jugo natural de las frutas es concentrado en un sistema de evaporadores TASTE de múltiple efecto.

Los evaporadores TASTE son los encargados de concentrar el jugo obtenido de la fruta, estos aplican el principio termodinámico de regulación de la temperatura de ebullición por enrarecimiento (vacío) del aire, esto es, que como en el vacío la temperatura de ebullición es más baja que la que se alcanza a la presión atmosférica, es posible producir un producto de alta concentración, manteniendo el color y la calidad requeridos en el mercado (Alvarado, 2013).

Estos evaporadores están constituidos por varias etapas y efectos. Se le denomina etapa, a uno de los procesos de evaporación de jugo dentro de cada evaporador; y efecto, a la acción de transmisión del calor del vapor al jugo en cada evaporador también. Los evaporadores de múltiple efecto permiten que el calor (en vapor) se use más de una vez antes de perderse en la condensación.

A esta característica de múltiple efecto hay que añadirle la disposición de varios pre calentadores, que disminuyen la cantidad de vapor necesario para llevar el jugo a la temperatura de ebullición, a la vez que se le provee durante este ciclo de una estabilización antes del proceso de evaporación (Alvarado, 2013).

Una más de las características de estos evaporadores, es el sistema de recuperación de esencias del jugo, que pueden considerarse como una solución acuosa de componentes volátiles del jugo, con las características de sabor y olor de este. La capacidad de evaporación total es de 100 000 lb/h de agua evaporada, uno de 40 000 lb/h uno y otro de 60 000 lb/h. La calidad de los productos cítricos concentrados en los evaporadores TASTE, se corresponden con las Normas Mundiales de Calidad de este producto.

En estos equipos se controlan los siguientes parámetros de operación para su buen funcionamiento: caudal de vapor (depende de la capacidad del equipo), presión de vapor (13 kg/cm^2), presión del vacío ($- 0,9 \text{ kg/cm}^2$), Temperatura de evaporación: $92 - 96^\circ\text{C}$, Temperatura a la salida ($15-24^\circ\text{C}$) y Sólidos solubles salida (Naranja: $66 \pm 0,5$ °Brix, Toronja: $58 \pm 0,5$ °Brix).

Los condensados de vapor que se generan en los TASTE se emplean en los generadores de vapores de la Empresa. El sistema de generadores que tiene esta UEB son de

emplazamiento fijo y horizontal, de hogar cilíndrico y ondulado, cámara de fuego y doble haz tubular (tubos de humo) y dos cajas de humo, una delantera y una trasera.

Los gases producto de la combustión recorren el hogar hasta alcanzar la cámara de fuego (primer paso) donde a través del haz tubular los gases son conducidos a la cámara de humo delantera (segundo paso). De esta caja parte un segundo haz tubular que conecta con la caja de humo posterior (tercer paso) desde este punto los humos son transportados al exterior a través de la chimenea. El cuerpo está construido totalmente de acero 106 °Bx (según norma ASTM-API).

Parámetros de operación:

- Superficie de calefacción: 426,3 m²
- Volumen de agua a nivel normal: 38,63 m³
- Presión de diseño: 15 bar
- Presión de trabajo: 13 bar
- Presión de prueba: 22,5 bar
- Temperatura de servicio: 194,9 °C
- Temperatura de diseño: 201,2 °C

Partes del Generador de Vapor

1. Hogar: conocido como horno o fogón, cámara de combustión, cenicero. Es el cuerpo cilíndrico expuesto al contacto de las llamas y los gases de la combustión.
2. Conducto de humo: Conduce los productos de la combustión desde el hogar hasta la chimenea.
3. Superficie de calefacción: Son todas aquellas partes del generador que se encuentran de un lado en contacto con el agua y por el otro reciben calor. Esta deberá ser lo suficientemente grande como para que los gases estén bastante tiempo en contacto con ella y así ceder la mayor cantidad de calor posible al agua.
4. Cámara de agua: Es el espacio del cuerpo del generador o del cuerpo cilíndrico ocupado por el agua (fase líquida).

5. Cámara de vapor: Es el espacio ocupado por el vapor en el interior del generador, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión.

Las características de los generadores de vapor existentes aparecen reflejadas en la tabla 3.1

Tabla 3.1. Características de los generadores de vapor de la UEB.

No. de generadores	1	2	4
Marca	Sadeca	Valtec-Umisa	Valtec-Umisa
Modelo	DDH-14	SMS-40(15)	SMS-40(15)
No. De serie	13842	NT-1618	NT-1633
Tipo de combustible	Fuel oil	Fuel oil	Fuel oil
Capacidad instalada	14 000 kg/h	16 000 kg/h	16 000 kg/h
Presión máxima	13 kg/cm ²	14,5 kg/cm ²	14,5 kg/cm ²
Presión de trabajo	13 kg/cm ²	13 kg/cm ²	13 kg/cm ²
Presión de prueba	16,5 kg/cm ²	22,5 kg/cm ²	22,5 kg/cm ²
Fecha de ejecución de prueba	8-9-1999	28-9-2000	22-6-2001
Entidad que certifica	ALASTOR	Valtec-Umisa	Valtec-Umisa
Consumo combustible	980 kg/h	1150 kg/h	1150 kg/h

Fuente: Departamento de tecnología, 2015

3.4 Desempeño ambiental y problemas ambientales de la UEB

Desempeño ambiental:

El Portal Web de la Empresa de Cítricos "Héroes de Girón" (2018) refiere que la entidad cuenta con la Ley 13 de Protección e Higiene del Trabajo, la Norma Cubana NC 19-00-04: Capacitación sobre Protección e Higiene del Trabajo, Resolución 19/2003 sobre investigación de los accidentes del trabajo, la Resolución # 31/2002 y el folleto Curso Básico de seguridad y Salud en el trabajo que trata sobre identificación, evaluación y control de los factores de riesgos, Reglamento de las áreas protegidas y metodología para

permiso de seguridad. La Empresa posee un procedimiento de cómo se organiza la actividad de seguridad y salud del trabajo.

Se conoce toda la legislación vigente en materia de cuidado al Medio ambiente, entregada por la dirección del CITMA en formato digital DERECHO AMBIENTAL CUBANO

La UEB tiene certificado el Sistema de Calidad ISO 9001:2000 por BVQI, además de recibir certificados de otras auditorias como son:

En abril del 2004 por la SGF (Grupo que acredita la autenticidad de los productos que comercializa y las condiciones higiénico-sanitarias de la planta donde se producen) y en septiembre del 2004 por KOSHER para la comercialización en la Comunidad Judía, que se repiten anualmente.

Organismos como CITMA de diferentes niveles, Delegación de Recursos Hidráulicos, Centro Provincial de Higiene y Epidemiología, y otros; supervisan y controlan sistemáticamente la actividad ambiental de la Empresa, la cual cuenta con Licencia Sanitaria.

Como estrategia para aumentar la productividad y eficiencia, disminuir los costos, las importaciones y la contaminación ambiental las opciones de Producción más Limpia se explotan en la Empresa continuamente.

Problemas ambientales:

Los principales desechos que se generan en la industria son los residuos sólidos y los residuales líquidos y gaseosos. Los residuos sólidos son los hollejos húmedos resultado del procesamiento de las frutas. Los residuales líquidos corresponden a las aguas residuales que se generan en la limpieza general, en el proceso tecnológico, las aguas albañales y las aguas amarillas que poseen cantidades de aceites esenciales derivados del proceso de centrifugación. También existen gases de combustión del proceso de generación de vapor. Cabe señalar que no existen desechos peligrosos en la industria, con excepción de algunas soluciones de limpieza y el amoniaco que se utiliza como refrigerante.

La UEB ya cuenta con un listado de los diferentes problemas ambientales los cuales se asocian al consumo de combustible (fuel oíl), consumo de energía eléctrica, consumo de agua, empleo de mano de obra local y generación de residuales. Los impactos ambientales negativos relacionados principalmente con el consumo de agua y combustible están asociados a la sobreexplotación de estos recursos naturales (Departamento de tecnología, 2015). De ahí que se decide abordar en este trabajo como problema fundamental el no aprovechamiento de corrientes secundarias de agua en el proceso productivo para la mejora de la eficiencia energética, técnica y ambiental de la UEB.

3.5 Opción de Producción Más Limpia identificada en el proceso

Situación actual

En el procesamiento de frutas cítricas en los TASTE se generan dos corrientes de condensado: el condensado vegetal y el condensado de vapor (figura 3.1).

La concentración del jugo genera alrededor de 200 a 300L de condensado por toneladas de fruta procesada (condensado vegetal) y en los primeros efectos del evaporador de quintuple efecto, esta agua alcanza una temperatura de aproximadamente 60 °C. Actualmente una parte de este condensado de fruta se utiliza para la limpieza de equipos en la Industria y el sobrante se vierte a la atarjea, por lo que se está perdiendo un agua de calidad, con valor calórico considerable.

Sin embargo el condensado de vapor que se genera en los TASTE se recupera enviándolo al tanque de alimentación de los generadores de vapor, mediante un sistema de flujo. En los generadores de vapor se utilizan además 16 m³ de agua suave a 25 °C.

Valoración de opción de PML

Se propone sustituir el agua suave que alimenta el generador de vapor por el condensado vegetal luego de ser evaluada su calidad físico-química y energética para este uso. Los parámetros de la calidad de los condensados vegetales y su alto contenido energético lo hacen apto para sustituir el agua suave sin efectos colaterales (Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola, 2009).

Propuesta: Reutilización y aprovechamiento del condensado vegetal en sustitución del agua suave que se alimenta al generador. Se propone eliminar el agua suave como agua de alimentación al generador y sustituirla por la corriente de condensado vegetal proveniente de los TASTE, por lo que en la propuesta el agua de alimentación al generador estará constituida por las dos corrientes de condensado, ambos a una temperatura de 60 °C (figura 3.2).

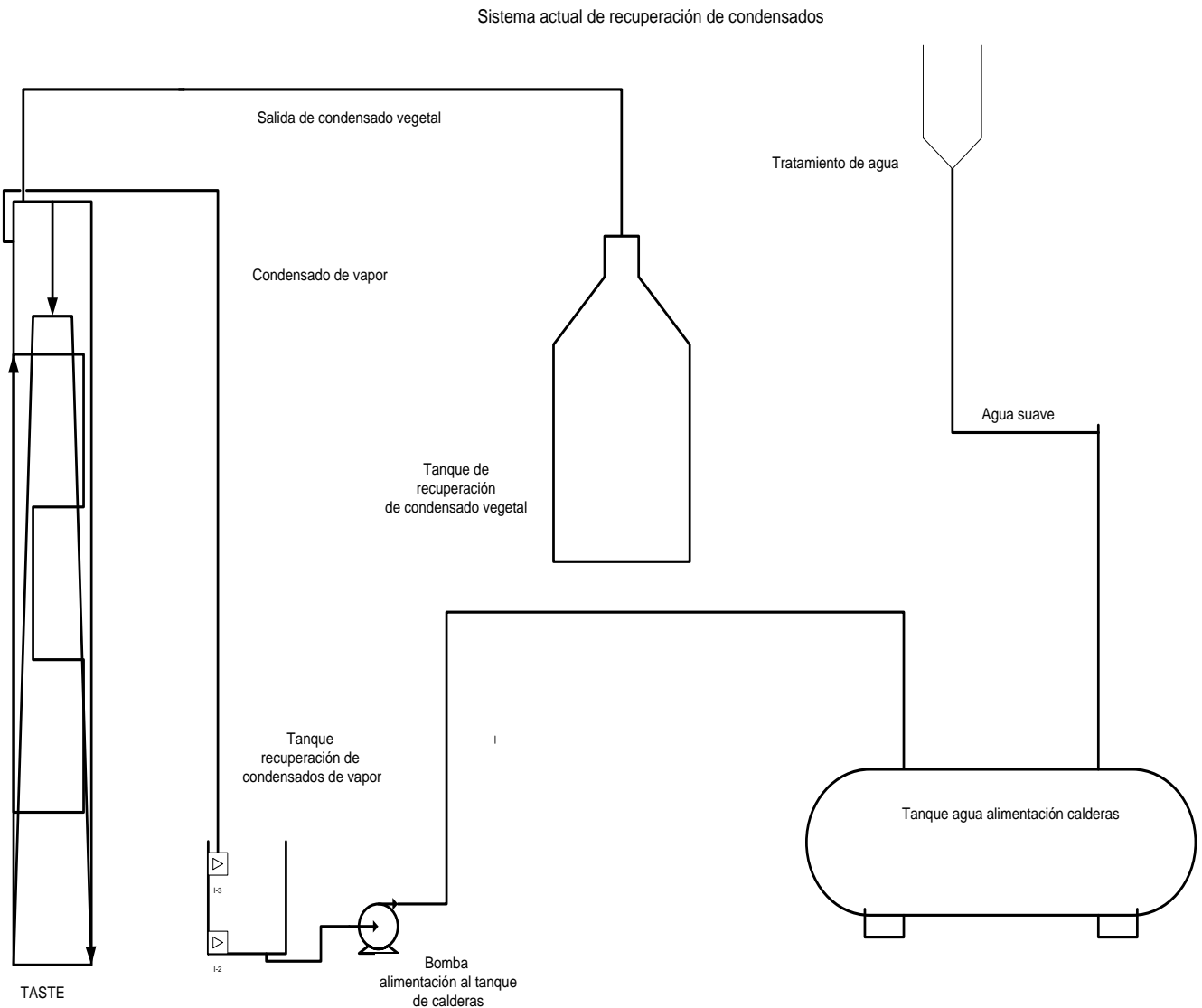


Figura 3.1. Sistema actual de recuperación de condensados

Fuente: Elaboración propia

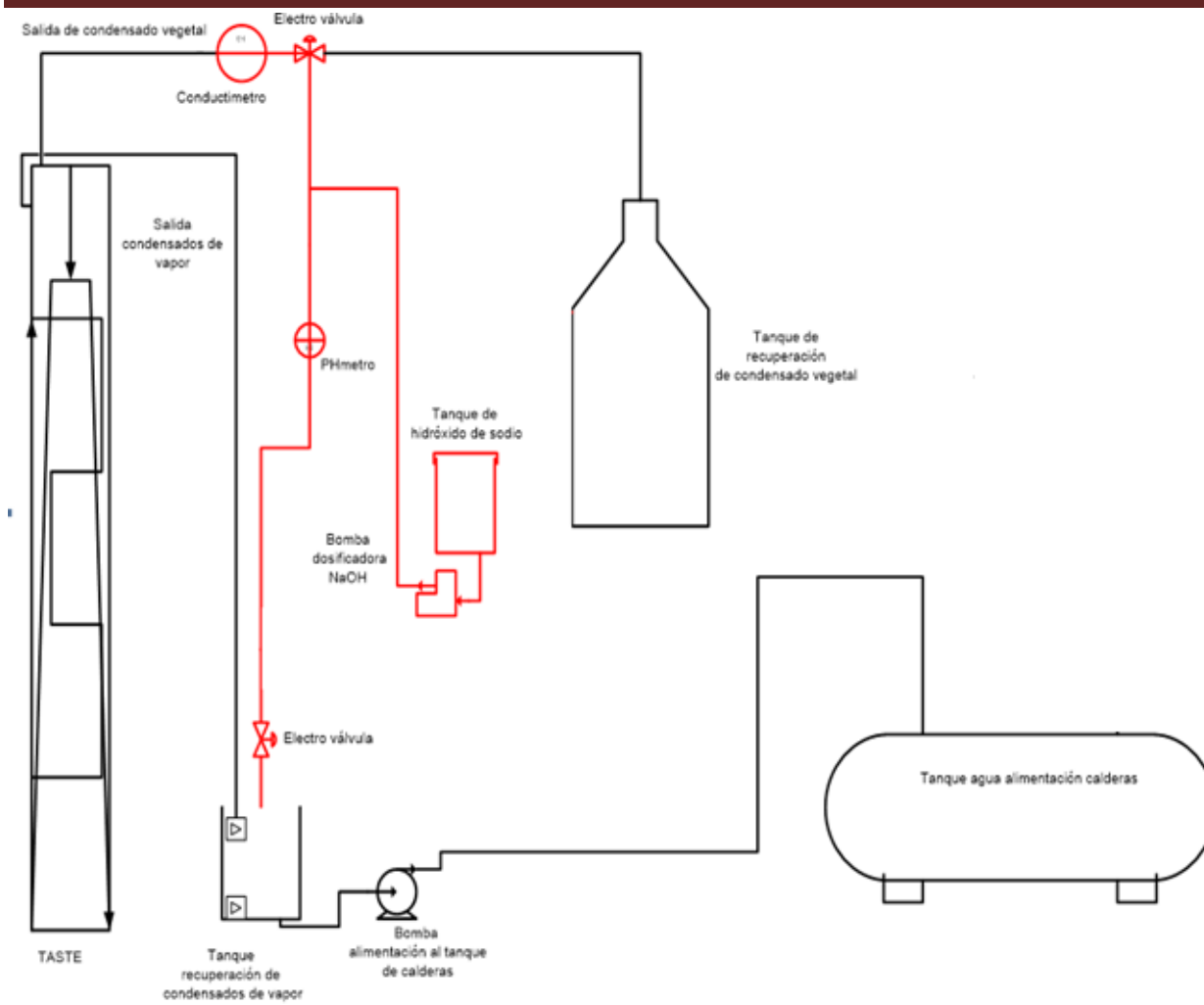


Figura 3.2. Sistema propuesto de recuperación de condensado vegetal

Fuente: Elaboración propia

3.6. Evaluación técnica de la propuesta

3.6.1 Evaluación físico-química del condensado vegetal

La caracterización del condensado vegetal que se genera en los evaporadores, incluye la determinación de la temperatura, pH, aceites y dureza según establece la Norma NC 827:2012.

En la figura 3.3 se muestra el comportamiento de la temperatura del condensado en el período evaluado la cual alcanza un promedio aproximado de 60 °C lo que pudiera elevar de 10 a 15 °C la temperatura del agua de alimentación.

En ninguna de las muestras analizadas se obtiene contenido de dureza, el contenido de aceite en todas es muy bajo y el pH promedio es de 4,2 (figura 3.4). Según la norma NC 827/2012 para agua al generador se establecen límites máximos admisibles de contenido de dureza hasta 5%, aceites y grasas menores a 1 mg/L y pH entre 8 y 9, por lo que se puede concluir que este condensado cumple con los parámetros de calidad para su uso como agua de alimentación al generador, excepto que debe ser ajustado el pH para evitar problemas de corrosión en la misma.

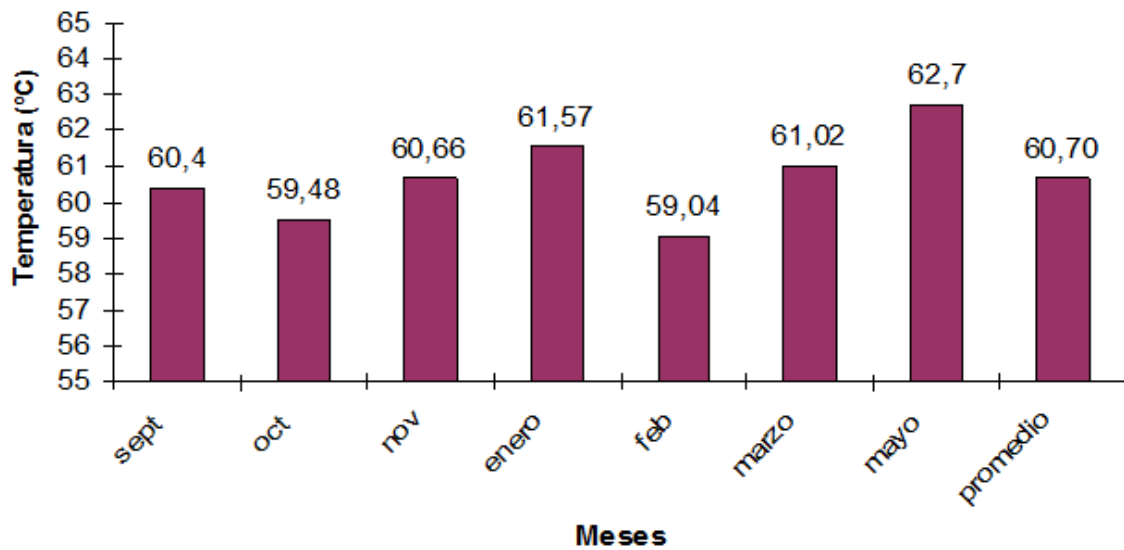


Figura 3.3. Temperatura del condensado vegetal

Fuente: Departamento de Tecnología, 2005

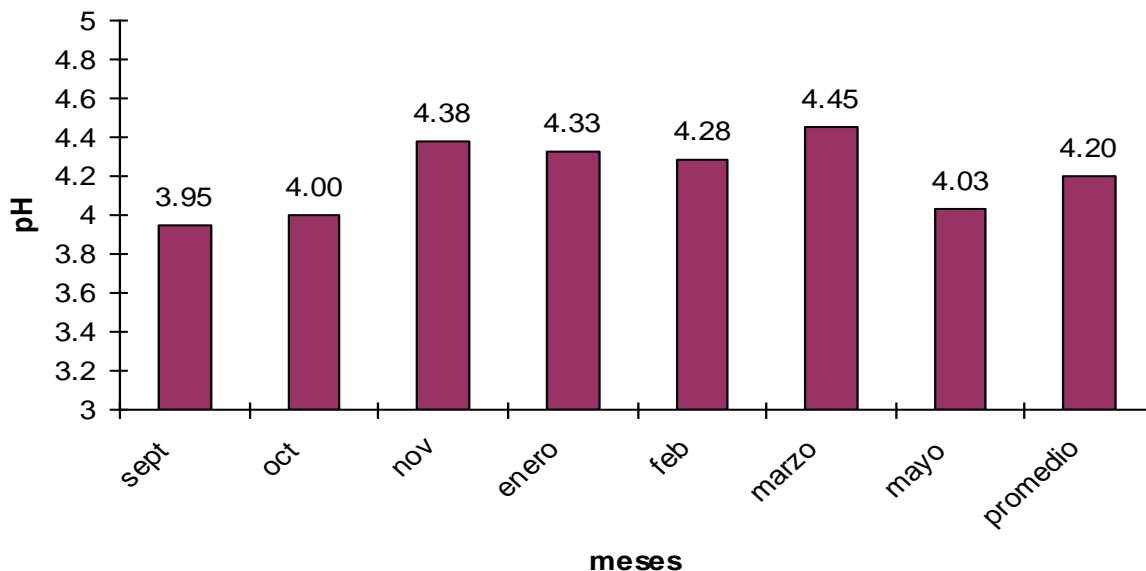


Figura 3.4. Valores de pH del condensado vegetal

Fuente: Departamento de Tecnología, 2005

3.6.1.1. Ajuste de pH del condensado vegetal para alimentación a los generadores

Debido a la acidez del condensado se propone realizar un tratamiento por neutralización para elevar el pH a valores normados, antes de ser incorporado al tanque de recuperación de condensado. Se selecciona el hidróxido de sodio (NaOH) como alcalinizante pues es considerado uno de los más usados para mantener el pH ideal (MKT- AP, 1998).

De forma experimental se realizó una valoración volumétrica con disolución de hidróxido de sodio (NaOH_{ac}), para lo cual se tomaron 80 mL de muestras aleatorias del condensado vegetal. Se determinó la cantidad de NaOH_{ac} que se necesita para neutralizar el condensado vegetal a un pH entre 8 y 9 (ecuación 2.28).

Se realizaron 10 muestreos aleatorios a diferentes pH, y para una concentración de hidróxido de sodio igual a 0,113 mol/L, masa molar igual a 40 g/mol, se obtuvo un volumen consumido de 0,18 mL, para obtener valores promedios de pH iguales a 4,2. A partir de estos resultados se determinó que para 1 m³ de condensado vegetal se necesitan 2,25 L de disolución, lo que equivale a 10,17 g de hidróxido de sodio.

3.6.2 Balances de masa y energía. TASTE y Generador de vapor

3.6.2.1 Determinación de la cantidad de condensado vegetal extraído al jugo.

El cálculo se realiza con el objetivo de determinar la capacidad de evaporación necesaria para procesar la cantidad de frutas recibidas en la campaña 2017 a 2018 (30 118,98 t). La capacidad de evaporación instalada es de 100 000 lb/h.

Si se conoce (Departamento de Tecnología, 2005) que el porcentaje de jugo en frutas es igual al 50 % y que se trabaja con un 98 % de eficiencia en los extractores, el flujo de jugo natural (J_c) es 47 605,22 kg/h (ecuación 2.2)

Brix del J_n = 13 °Brix

Brix del J_c = 66°Brix

La cantidad de agua evaporada (A_e) según la expresión 2.1 es:

$$A_e = 47\,605,22 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \left(\frac{66 \text{ °Brix} - 13 \text{ °Brix}}{66 \text{ °Brix}} \right)$$

$$A_e = 38\,228,43 \text{ kg/h}$$

3.6.2.2 Determinación de la eficiencia actual del generador

- **Cálculo del calor útil**

Se evalúan las entalpías a partir de la temperatura de alimentación del agua y la presión del generador y por la ecuación 2.4 se calcula el calor útil.

T del agua \approx 40 °C (esta temperatura corresponde a la temperatura promedio que se alcanza en el tanque de alimentación al generador, al mezclar el agua suave T \approx 25 °C con el condensado de vapor T \approx 60 °C)

$h_a = 167,57 \text{ kJ/kg}$ (Keenan, 1978).

P del generador (manométrica)= 13 kg/cm³

P del generador (absoluta)= 14 ata

$h_{v_s} = 2790 \text{ kJ/kg}$

$$m_v = 16\,000 \text{ kg/h}$$

$$Q_u = Q_{abs} v_{Sc} = 41\,958\,880 \text{ kJ/h}$$

- **Cálculo del calor del combustible**

$$\beta = 1282,321 \text{ kg/h (Departamento de economía, 2019)}$$

$$VCI = 40\,746 \text{ kJ/kg (Departamento de economía, 2019)}$$

$$Q_d = VCI$$

Luego,

$$\text{Calor de combustión} = \beta * VCI = 52\,249\,451,47 \text{ kJ/h}$$

- **Eficiencia**

$$\eta = \frac{41\,958\,880 \text{ kJ/h}}{52\,249\,451,47 \text{ kJ/h}} * 100 = 80,3 \%$$

3.6.2.3 Disminución del calor requerido en el generador

Al reutilizar el agua del condensado de vapor y el condensado vegetal en sustitución del agua suave en la alimentación a los generadores, se alcanzará una temperatura de aproximadamente 60 °C. Esto mejora la producción de vapor, ya que al aumentar la temperatura media de adsorción en el generador, se necesitará menos combustible para calentar el agua y elevar su temperatura hasta la correspondiente a la presión de saturación o presión de trabajo del generador, esto conlleva a los siguientes cálculos.

De acuerdo a la ecuación 2.11 a una temperatura de alimentación al generador de 60 °C

$$h_{ac} = 251,13 \text{ kJ/kg (Keenan, 1978)}$$

$$Q_c = 16\,000 \text{ kg/h} * (2790 - 251,13) \text{ kJ/kg}$$

$$Q_c = 40\,61\,920 \text{ kJ/h}$$

por lo que,

$$Q_{req} = (41\,958\,880 - 40\,621\,920) \text{ kJ/h} * 0,803$$

$$Q_{req} = 1\,073\,578,88 \text{ kJ/h}$$

Esta diferencia de energía ($1\,073\,578,88 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$), constituye la cantidad de energía que se ahorraría la UEB al utilizar el condensado vegetal, que corresponde a una menor cantidad de combustible en el proceso.

3.6.2.4 Ahorro de combustible

Según la expresión 2.13, el porcentaje de combustible ahorrada quedaría

$$A_{comb} = \frac{1\,073\,578,88 \text{ kJ/h}}{41\,958\,880 \text{ kJ/h}} * 100$$

$$A_{comb} = 2,55 \%$$

El ahorro de combustible por tanto es igual a (ec 2.14):

$$C_a = 1282,321 \text{ kg/h} * 0,0255$$

$$C_a = 32,7 \text{ kg/h}$$

Si se tiene en cuenta que el estudio se realiza para una campaña de 72 días, de 20 horas de trabajo diario (Departamento de tecnología, 2015), con la propuesta se ahorrarían alrededor de 47,1 t/a de combustible

3.6.2.5 Aumento de la eficiencia energética (Aee) del generador por la utilización del condensado vegetal

Sustituyendo en la ecuación 2.12 se obtiene el aumento de la eficiencia del generador por concepto de la propuesta tecnológica

$$A_{ee} = \frac{1\,073\,578,88 \text{ kJ/h}}{52\,249\,451,47 \text{ kJ/h}} * 100$$

$$A_{ee} = 2,05 \%$$

La eficiencia del generador aumenta en aproximadamente un 2 % con la propuesta realizada.

Todo lo anterior demuestra que con la reutilización del condensado vegetal aumenta la eficiencia del generador de vapor y se consiguen reducciones importantes de energía y de

combustible, ya que se aprovecha la capacidad energética de este condensado, tal y como se plantea en Martínez (2005) y Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola (2009).

3.6.3 Balance de energía mecánica. Evaluación del sistema de flujo

Se pretende comprobar si el sistema de flujo instalado y que se utiliza actualmente para bombear el condensado de vapor, es suficiente para el trasiego de ambos condensados (vapor y vegetal) que se generan en los TASTE para ser alimentado al generador, con la sustitución del agua suave.

La figura 3.3 representa el diagrama del sistema de flujo desde el tanque de almacenamiento de condensado hasta el tanque de alimentación del generador.

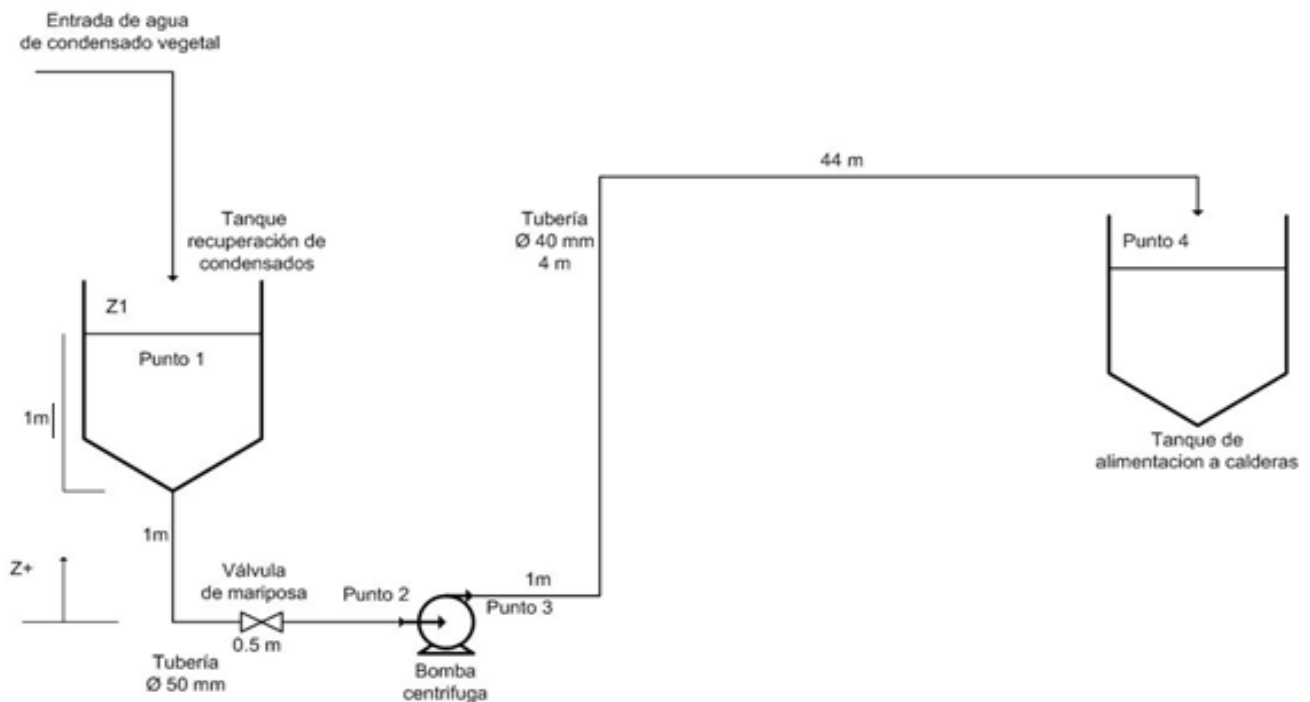


Figura 3.3 Sistema de flujo evaluado. Diagrama de alimentación de agua de condensado vegetal al tanque de alimentación a los generadores.

Fuente: Elaboración propia

Se aplica el balance de energía mecánica entre el tanque de agua de condensado (punto 1) y la entrada al tanque de alimentación al generador (punto 4), considerando las tuberías y los accesorios. Se tiene en cuenta los tramos de tuberías antes (1-2) y después (3-4) de la bomba debido a la diferencia del diámetro de succión y descarga de la misma (figura 3.3).

Tramo succión de la bomba (1-2): Desde la salida del tanque de agua de condensado hasta la succión de la bomba consta de una válvula mariposa de 40°, un codo de 90°, una tubería de 50 mm de diámetro y 1 m de longitud, a una altura de 2 m.

Tramo de descarga de la bomba (3-4): Desde la descarga de la bomba hasta el tanque de alimentación al generador, 4 codos de 90° estándar, el diámetro de la tubería es de 40 mm, y su longitud es de 49 m, con una altura de 4 m.

El flujo total de condensado (w_s) que se genera en los TASTES es igual a:

$$w_s = A_e + w_v \quad \text{ec 3.1}$$

Donde:

A_e –Flujo de condensado vegetal que se genera en los evaporadores. Este flujo es la cantidad de condensado vegetal que se le extrae al jugo de frutas calculado en el epígrafe 3.7.2.1 ($A_e = 38\,228,43$ kg/h)

w_v –Flujo de condensado de vapor que se genera en los evaporadores (4 800 kg/h) (Departamento de Tecnología, 2015)

El flujo total de condensado que se genera en los TASTE es de 43 028,43 kg/h, sin embargo con la propuesta solo será bombeado al tanque de alimentación del generador el flujo de condensado necesario para generar los 16 000 kg/h de vapor saturado que se generan en el mismo. Como en la instalación actual se aprovecha todo el condensado de vapor (4800 kg/h), entonces para completar los 16 000 kg/h solo se necesitarán 11 200 kg/h del condensado vegetal que se genera. El resto del condensado vegetal será utilizado en la limpieza de equipos en la UEB (27 028,43 kg/h).

Si la densidad del agua a 60 °C es de 983,2 kg/m³ (Rosabal, 2006), entonces el flujo de condensado que se utiliza para el balance de energía mecánica equivale a 16,27 m³/h.

3.6.3.1 Datos y cálculos generales

Los datos necesarios para los cálculos se reflejan en la tabla 3.1 y se conoce además que:

- Aceleración de la gravedad $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ (Rosabal, 2006; p273)
- Las tuberías son de hierro fundido

Tabla 3.1. Propiedades del fluido, datos de operación y diseño para la evaluación del sistema de flujo.

Parámetros	Tramo 1		Tramo 2		Unidad de medida
	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	UM
Temperatura (T)	60		60		°C
Viscosidad (μ)	$4,67 \cdot 10^{-4}$		$4,67 \cdot 10^{-4}$		Pa·s
Densidad (ρ)	983,2		983,2		kg/m^3
Presión (P)	101325	84 769,1*	404837,2*	101325	Pa
Altura (Z)	2	0	0	4	m
Diámetro (d)	0,005		0,004		m
Longitud (L)	1		49		m

*-despejando del balance de energía mecánica (ec 2.15)

Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos anteriores se determinan los parámetros necesarios para aplicar el balance de energía mecánica al sistema (tabla 3.2)

Como puede observarse el número de Reynolds (R_e) es superior a 4000 en ambos tramos, por lo que el régimen de flujo es turbulento (Rosabal, 2006). Debido a que el diámetro de la tubería a la entrada de la bomba es mayor que a la salida, se obtienen valores superiores de los factores de fricción, la velocidad de fluido y el régimen de flujo en el tramo 2.

- Tabla 3.2. Cálculos necesarios para el balance de energía mecánica

Parámetros	Tramo 1		Tramo 2	UM	Fuente
	Punto 1	Punto 2	Punto 3 y Punto 2		
Velocidad del fluido (v)	0	2,3	3,6	m/s	ec 2.18
Número de Reynolds (Re)	-	$2,42 \cdot 10^5$	$3,03 \cdot 10^5$	-	ec 2.19
Coefficiente de corrección (α)	-	1	1	-	-
Rugosidad absoluta (e)	-	0,26	0,26	mm	Tabla 9 Rosabal (2006; p281)
Rugosidad relativa (ε)	-	0,0052	0,0065	-	ec2.20
Factor de Fricción (f)	-	0,030	0,033	-	Figura 3.9 Rosabal (2006; p89)

Fuente: Elaboración propia

3.6.3.2 Pérdidas por fricción

Las pérdidas totales se muestran en la tabla 3.4, para los accesorios se tuvieron en cuenta los coeficientes de resistencia locales de los mismos (tabla 3.3).

Tabla 3.3. Coeficientes de resistencia locales de accesorios

Tramos	Accesorios	Unidad	k^1	Total
Succión	válvula mariposa de 40°	1	10,8	11,55
	codo estándar 90°	1	0,75	
Descarga	codo estándar 90°	4	0,75	6

¹ - Tabla 3.1 Rosabal (2006; p102)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.4. Pérdidas por fricción totales del sistema

Parámetros	Tramo 1	Tramo 2	Total (m)
Tuberías	0,32	26,69	27,01
Accesorios	3,12	0,81	3,93
Total (m)	3,44	27,50	30,94

Fuente: Elaboración propia

Las pérdidas totales por fricción son de 30,94 m, lo que equivale a las pérdidas de carga en todo el sistema de flujo. Sin embargo esta pérdida de carga es mayor en el tramo 2 principalmente por poseer una mayor longitud de tubería y menor diámetro. Esto ocasiona mayores pérdidas por fricción debido a un mayor régimen de flujo y a la turbulencia que genera. A pesar de que el coeficiente de fricción de la válvula de mariposa (10,8) ubicada en el tramo 1 es mayor que el de los cuatro codos de 90° ubicados después de la bomba (0,75), estos últimos provocan cambio total o parcial en la dirección del flujo y una mayor turbulencia que contribuyen a aumentar la pérdida de energía en el tramo 2, superior a la que normalmente se produce en un flujo por una tubería recta (Greene, s/a).

3.6.3.3 Carga y NPSH de la bomba

Carga de la bomba requerida por el sistema

Al aplicar y despejar del balance de energía mecánica (ecuación 2.15) con los datos y resultados del sistema se obtuvo una carga de la bomba requerida por el sistema (H_{b_s}) de 33,22m.

Carga Neta de Succión Positiva del Sistema ($NPSH_s$)

La presión de succión de la bomba es igual a 84 769,1Pa (P_2) (tabla 3.1), se calcula despejando del balance de energía mecánica entre el punto 1 y el punto 2.

Si se conoce que la presión de vapor del agua a 60 °C es de 19 920 Pa (Rosabal, 2006), se obtiene una carga neta de succión positiva del sistema de 6,73 m.

3.6.3.4 Evaluación del sistema de flujo

Potencia consumida por la bomba:

Para una eficiencia de diseño de la bomba de 80 %, la potencia consumida por el sistema de bombeo (1809,65 W), calculado a partir de la ecuación 2.23, es inferior al consumo de potencia del motor (3700 W) reportado en los datos de chapa, criterio que cumple con los requerimientos de evaluación de la propuesta.

Criterios de selección de bombas:

Se observa que al evaluar los criterios de selección de bombas (tabla 3.5) se cumple que:

- Carga de la bomba y del sistema: $H_b > H_{bs}$
- Caudal de la bomba y del sistema: $q_b > q_s$
- Carga neta de succión positiva del sistema: $NPSH_s > 0$
- Carga neta de succión positiva de la bomba y del sistema: $NPSH_b \leq NPSH_s$

Tabla 3.5. Criterio de selección de la bomba para el sistema propuesto

Parámetros	Sistema	Bomba ⁽¹⁾
q (m³/h)	16,27	21,6
H_b (m)	33,20	40
NPSH	6,73	5
N	1810,4	3700

1- Datos de chapa: electrobomba centrífuga Marca DURCO, modelo 2x1-10A/100 de 1720 rpm

Fuente: Elaboración propia

Al cumplirse todos los criterios de selección, se concluye que la bomba instalada satisface los requerimientos de operación del sistema propuesto, por lo que el sistema de flujo instalado puede ser utilizado para poner en práctica la opción de PML propuesta.

3.7 Evaluación económica de la propuesta

3.7.1 Agua suave dejada de consumir

Para una campaña de 72 días y 20 horas de trabajo diario, teniendo en cuenta que se propone sustituir el agua suave utilizada en el generador de vapor, se obtiene que los 16,27 m³/h de condensado procesados equivalen a 23 429 m³ por campaña. Para un costo de agua de 0,62 \$/m³ (Anexo 3), el ahorro de este recurso asciende a 14 526 \$/campaña por concepto de reutilizar el condensado vegetal.

3.7.2 Combustible dejado de consumir

El combustible que se deja de consumir en cada campaña por concepto de la propuesta es de 47,1 t, lo que equivale a un ahorro de 13 466,36 \$/campaña, teniendo en cuenta el costo de la tonelada de combustible según su ficha de costo (285,91 \$/t)

3.7.3 Costo por tratamiento del condensado

Al generarse 23 429 m³/campaña de condensado vegetal y conocerse que por cada 1 m³ de condensado vegetal se necesitan 10,17 kg de hidróxido de sodio, el gasto total sería de 0,238 t/campaña de neutralizante (ecuación 2.27). Para un precio unitario de hidróxido de sodio igual a 165,41 \$/t, se obtiene a partir de la ecuación 2.28 que el costo por concepto de neutralización del condensado vegetal es de 39,37 \$/campaña

3.7.4 Costos por Inversión

La inversión se obtuvo a partir del costo de adquisición de los insumos necesarios para poner en práctica la propuesta sin tener en cuenta los costos de instalación y montaje ya que el mismo se lleva a cabo por la brigada de mantenimiento de la Empresa.

La inversión total de la propuesta es de 14244,67 \$ (Anexo 4).

3.7.5 Amortización de la Inversión

Considerando 10 años vida útil para la propuesta (Ulrich, 1992), tiempo adecuado para estimaciones preliminares en Plantas o Proceso Químicos, la amortización es de 1424,47 \$/campaña (ec 2.30)

3.7.6 Relación Beneficio/Costo

Según la expresión 2.23, los beneficios de la propuesta ascienden a 27 992,36 \$/campaña y los costos a 1463,84 \$/campaña, por lo tanto la relación beneficio/costo es igual a 19,12. Se concluye que la propuesta de reutilizar el condensado vegetal que se genera en los TASTE como agua de alimentación al generador es económicamente viable ($B/C > 1$).

3.8 Impacto ambiental

Después de implementar la opción según los cálculos realizados anteriormente, se dejan de extraer 23 429 m³ de agua potable en cada campaña, valor que corresponde al consumo diario de una población de 93 716 habitantes, considerando un consumo de 250 L/hab. Se ahorrará además 47,1 t/año de combustible, esto equivale a dejar de emitir gases dañinos a la atmósfera por lo que esta opción presenta un impacto ambiental positivo. Se dejará de verter por este concepto el condensado vegetal que se generan en los TASTES en forma de residual.

3.9 Conclusiones parciales

1. Se identifica como problema ambiental de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, el no aprovechamiento de corrientes secundarias de agua en el proceso productivo.
2. Se propone reutilizar el condensado vegetal que se genera en los TASTE como agua de alimentación al generador, en sustitución del agua suave que se emplea actualmente.
3. Con el uso del condensado vegetal la eficiencia del generador de vapor aumenta 2,05 %, lo que se traduce en un ahorro de 47,1 t de combustible por campaña.
4. El sistema de flujo instalado satisface los requerimientos de operación del sistema propuesto al cumplirse todos los criterios de evaluación.
5. La propuesta es económicamente factible ya que los beneficios superan en 19,12 a los costos ($B/C > 1$).
6. Se dejan de extraer 23 429 m³ de agua potable en cada campaña y se deja de verter el condensado vegetal que hoy se genera.

CONCLUSIONES

1. Se demuestra que el aprovechamiento del condensado vegetal en sustitución del agua suave para la alimentación a los generadores de vapor constituye una opción técnica, ambiental y económicamente factible para la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, por lo que queda validada la hipótesis planteada.
2. La caracterización físico-química del condensado vegetal que se produce en los TASTE demuestra que el mismo cumple con los requerimientos normativos (dureza, grasas-aceite, temperatura) para ser utilizado como agua de alimentación a los generadores de vapor, excepto por los bajos valores promedios de pH (4,2) que posee.
3. Se propone tratamiento químico del condensado para ajustar el pH con hidróxido de sodio, obteniéndose que para tratar 1 m³ de condensado vegetal se necesitan 2,25 L de disolución (10,17 g).
4. La propuesta es técnica, económica y ambientalmente factible ya que se obtiene:
 - un ahorro de energía de 1 073 578,88 kJ/h y de combustible igual a 32,7 kg/h (47,1 t por campaña), lo que se traduce en un aumento de la eficiencia del generador de vapor (2,05 %).
 - el sistema de flujo instalado satisface los requerimientos técnicos-operacionales de la propuesta al cumplirse todos los criterios de evaluación del sistema de bombeo ($H_{sist} < H_b$, $Q_{sist} < Q_b$, $NPSH_b \leq NPSH_{sist}$).
 - la relación beneficio/costo es igual a 19,12; con beneficios de 27 992,36 \$ y costos de 1463,84 \$.
 - se ahorran 23 429 m³ de agua potable en cada campaña, dejándose de extraer al manto freático; lo que equivale al no vertimiento de condensado vegetal como residual.

RECOMENDACIONES

1. Proponer a la dirección de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón” la implementación de la propuesta y la elaboración de un plan de acción con las medidas técnico administrativas requeridas para el aprovechamiento del condensado vegetal en la alimentación de los generadores de vapor para aprovechar corrientes secundarias en el proceso, disminuir los portadores energéticos y la contaminación ambiental.
2. Extender la propuesta a otras áreas de la producción y los servicios de la UEB.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, E. (2013). Estudio del proceso de producción de pulpas de frutas pasteurizadas. Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y ciencias de la Producción. Guayaquil, Ecuador.
- Assenova, M., Georgiev, Z., & Dunjic, B. (2016). *Application of Resource Efficient and Cleaner Production Approach in the Accommodation Sector of the Balkan Region. European Journal of Sustainable Development*,5(4), 431-442.
- Bermúdez Hernández. Y. (2013). Producción más Limpia en el Sector Biotecnológico. *Journal of Technology Management & Innovation*, ISSN-e 0718-2724, N°. Extra 8, 2, 2013 (Ejemplar dedicado a: SpecialIssue ALTEC: *Social and Sustainable Project, Knowledge and Innovation Management*), págs. 298-309.
- Borroto Nordelo, A y Rubio González, A. (2007). Combustión y Generación de Vapor. Maestría en eficiencia energética. Ministerio de educación superior. Universidad de Cienfuegos. Editorial UNIVERSO SUR.
- Borroto Nordelo, A. (2005). Ahorro de energía en sistemas de vapor. Centro de estudios de energía y medio ambiente, Universidad de las Villas.p.16-38. ISBN 959-257-094-2.
- Branan, C. (2002). *Rules of Thumb for Chemical Engineers. A manual of quids, accurate solutions to everyday process engineering problems. Houston: Editorial Gulf Publishing Company.*
- Cabello, J., Sagastume, A., García, D., Cogollos, J., Hens, L., & Vandecasteele, C. (2015). *Bridging universities and industry through cleaner production activities. Experiences from the Cleaner Production Center at the University of Cienfuegos, Cuba. Journal of cleaner production*, 108, 873- 882.
- Cabello, J., Sousa, V., Sagastume, A., Alvarez, M., Haeseldockx, D., & Vandecasteele, C. (2016). *Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. Journal of cleaner production*, 137(20), 803-812.
- Caprobello, C. (1998).Un camino redondo. Bohemia (CU):39-40. 26/9/98,

-
- Cardoso, G., Vendrametto, O., Alencar, I., Palmeri, N., & Cezar, W. (2016). *Environmental impact reduction as a result of cleaner production implementation: a case study in the truck industry*. *Journal of Cleaner Production*, 129(25), 681-692.
 - Castellanos Álvarez, J., Montesino Pérez, M. (2007). Métodos fundamentales de análisis de los procesos de transmisión de calor. Editorial Universidad de Cienfuegos. P .25-28.
 - Colectivo de Autores. (1982). *Técnicas de Conservación Energética en la Industria*, Tomo1, Ahorro en Operaciones, Ediciones Revolucionarias. La Habana Cap 4,5
 - CONAE. (2008). Tratamiento de agua para su utilización en calderas. Dirección de enlace y apoyo a sectores privados. México.
 - Correa, G.; Fernández L. (2008). Uso eficiente del agua en Refinería Luján de Cuyo [en línea]. Disponible en: <http://biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/CONAID2/112%20trabajo.PDF> [Consulta: 7 de Julio del 2008]
 - Departamento de economía. (2019). Factura de CUPET. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
 - Departamento de tecnología. (2015) (Revisión). Descripción del proceso productivo de la empresa de UEB combinado industrial Héroes de Girón. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
 - Department of Energy. (2002). *Improving Steam System Performance: A Sourcebook for Industry*. Office of Industrial Technologies. Energy Efficiency and Renewable Energy. U.S.. Washington, DC. DOE/GO-102002-1557. June
 - Dodic, S., Vucurovic, D., Popov, S., Dodic, J., & Zavargo, Z. (2010). *Concept of cleaner production in Vojvodina*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 1629-1634.
 - Duek, A. E, Fasciolo, G. E. (2014). Uso de agua en industrias de elaboración de conservas de tomate y de durazno de Mendoza, Argentina. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo. ISSN 1853-8665. vol.46 no.1 Mendoza ene./jun. 2014.

- Dumke, D., Alves, F., Sena, G., & Gomes Da Silva, J. (2007). *Aplicação da produção mais limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. Produção*, 109-128.
- Eg, S., Meng, X., Yin, H., Tam, C., & Sun, L. (2010). *Impact of cleaner production on business performance. Journal of Cleaner Production*, 18, 975-983.
- *Energy Efficiency Handbook. (1997). Council of Industrial Boiler Owners (CIBO). Burke, VA. USA. Edited by Ronald A. Zeitz. November.*
- Fernández, J., Linhares, E., Sousa, A., & Rodríguez, M. (2015). *Um estudo da Produção Mas limpana Gestão Ambiental. Revista Augustus*, 52-64.
- Franco Vásquez. P. C, Arias Vargas. J. L . (2014). Estado del arte de los sistemas de gestión ambiental y procesos de producción más limpia en empresas del sector productivo de Pereira y Dosquebradas. Páginas: Revista académica e institucional de la UCPR, ISSN-e 0121-1633, N°. 94.
- Freeman, A., Herrigues, J., & Kling, C. (2014). *The Measurement of Environmental and resource value*. Nueva York: Taylor & Francis.
- Greene, R. W., (s/a). Válvulas. Selección, uso y mantenimiento. New York: MC Graw - Hill. 215p
- Henríquez, J., y Catarino, J. (2014). *Sustainable Value and Cleaner Production e research and application in 19 Portuguese SME. Journal of Cleaner Production*, 96(15), 379-386.
- Keenan, Joseph H. (1978). *Steam tables, Thermodynamic properties of water, including vapor, liquid, and solid phases*. Editorial SI Units
- Kjaerheim, G. (2005). *Cleaner production and sustainability. Journal of cleaner production*, 13, 329- 339.
- Lin, R., Kim, H., & Yong, G. (2013). *Market demand, green product innovation, and firm performance: evidence. Journal of Cleaner Production* 40, 101-107.
- LIPESA. 1991. Química del Agua. Venezuela.52p.
- Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola. (2009).[en línea] [Consulta: 11 de febrero del 2019].

-
- Martínez A. (2005). Manual de Termoeconomía Ediciones Oriente. Santiago de Cuba
 - Mederos H. Abreu, A. (2007). Jagüey Grande una citricultura sobre piedras, editorial pueblo y educación. Cuba. 122p.
 - Miralles, D. (2006). *Curso de tratamiento de agua y Desarrollo de las tecnologías de tratamiento de aguas en las industrias cubanas*. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. Facultad de Ingeniería Química. Ciudad de la Habana.100p.
 - MKT-AP. 646. (1998). Análisis 1/2/resina/depósitos. AGOSTO.
 - Molina, A., Claver, E., Pereira, J., & Tarí, J. (2015). *Environmental practices and firm performance: an empirical analysis in the Spanish hotel industry*. *Journal of Cleaner Production*, 516-524.
 - Norma Cubana 827/2012. Agua Potable: Requisitos sanitarios CMA. Nov 2012. 10 p.
 - Nova A. (1983). Aspectos económicos de los cítricos en Cuba, Ed. Científico' Técnica, La Habana. 36p.
 - PNO: L/6-11. (2015). Aguas Industriales aguas de calderas. Especificaciones de Calidad. Vig. Septiembre
 - PNUMA. (1992). *United Nations Conference on Environment and Development. Agenda 21. The United Nations Programme of Action from Rio, New York:United Nations. Available online at: <http://www.un.org/esa/dsd/agenda21-00shtm>. (Consultado 10 April 2017).*
 - PNUMA. 2006. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Metodología de Producción Más Limpia
 - PNUMA/IMA.(2003). Un paquete de recursos de capacitación: Producción más limpia. Documentos técnicos de apoyo. Parte 3. 28 p
 - Prieto Bautista, E. (2017). Aumento de la eficiencia energética en las calderas mediante la recirculación de condensados en la industria gloria Colombia planta cogua (Cundinamarca).Universidad Santo Tomás. Bogotá D.C., Colombia.

- Rosabal, J.M. (2006). Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Ciudad de la Habana. Editorial Félix Varela. 2da edición.
- Rubio González, A (1981): Generadores de vapor, Edición MES, Santa Clara.
- Serrano Méndez, J. (2006). Protección Ambiental y Producción Más Limpia. Curso de Universidad para todos. Editorial Academia.
- Snyder, P. Biot, J. (2004). Manual de operación del evaporador de concentrado cítrico TASTE 60k 7-9. Revisión N°0. septiembre.
- Temas sobre la actividad energética en la industria alimenticia. (2000). Folleto. La Habana. Editorial Pueblo y Educación.
- Towler, G. y Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Desing. Principles, Practice and Economics of Plant and Process Desing. Editorial Butterworth-Heinemann. Estados Unidos.*
- Ulrich, G. (1992). Diseño y economía de los procesos de Ingeniería Química. McGraw Hill Interamericana de México. ISBN: 970-10-0087-0. 513 p
- *UNIDO. (United Nations Industrial Development Organization), [UNEP] United Nations Environment Programme (2010). Joint UNIDO-UNEP Programme on Resource Efficient and Cleaner Production in Developing and Transition Countries.*
- Valtec- Umisa. (2001). Manual de instrucciones, uso y mantenimiento del generador de vapor. Modelo UMISA SMS'40(15) y resto de equipos instalados. NT1633. julio
- Valtec-Umisa. (2008). Generadores de vapor pirotubulares modelo"UMS" [en línea]. Disponible en :www.valtec-umisa.es [Consulta: 17 de Enero 2019]
- Van Berkel, R. (2015). *Resource efficient and cleaner production (RECP) for better enterprises, cleaner environment and green Economy. Moldova.*
- Van Hoof, B., Monroy, N., & Saer, A. (2008). Producción más limpia: Paradigma de gestión ambiental. Barranquilla: Alfaomega Colombiana S.A.
- Varón Jiménez. L.M. (2013). La producción más limpia como estrategia de gestión ambiental. Producción + Limpia, ISSN-e 1909-0455, Vol. 8, N° 1, (Ejemplar dedicado a: Producción + Limpia), págs. 1-2

- Wahala, W., Edirisinghe, L., Peiris, V., & Kumarasena, N. (2012). *Resource efficient cleaner production (RECP) as a potential tool for greening the hospitality industry in Sri Lanka. International Forestry and Environment Symposium*, 163.
- Zeng, S., Meng, X., Yin, H., Tam, C., & Sun, L. (2010). *Impact of cleaner production on business performance. Journal of Cleaner Production*, 18, 975-983.
- Zúñiga-Araya, M. (2014). Producción más limpia en las Américas: Manejo del recurso energético. Casos de estudio: Chile, Costa Rica y Nicaragua. *Tecnología*, ISSN 0379-3962, ISSN-e 2215-3241, Vol. 1, N°. Extra 1, 2014 (Ejemplar dedicado a: Movilidad estudiantil 2014), págs. 5-13.

ANEXOS

ANEXO 1: COMPROMISO DE LA EMPRESA

- **Misión**

Producir jugos y otros derivados de frutas cítricas y tropicales que satisfagan las necesidades siempre crecientes del cliente con el sabor, color, y aromas exclusivos de Jagüey Grande.

- **Visión**

Contar con la profesionalidad, disciplina, consagración, eficiencia, alto sentido de pertenencia, calidad y competitividad del capital humano con que disponemos.

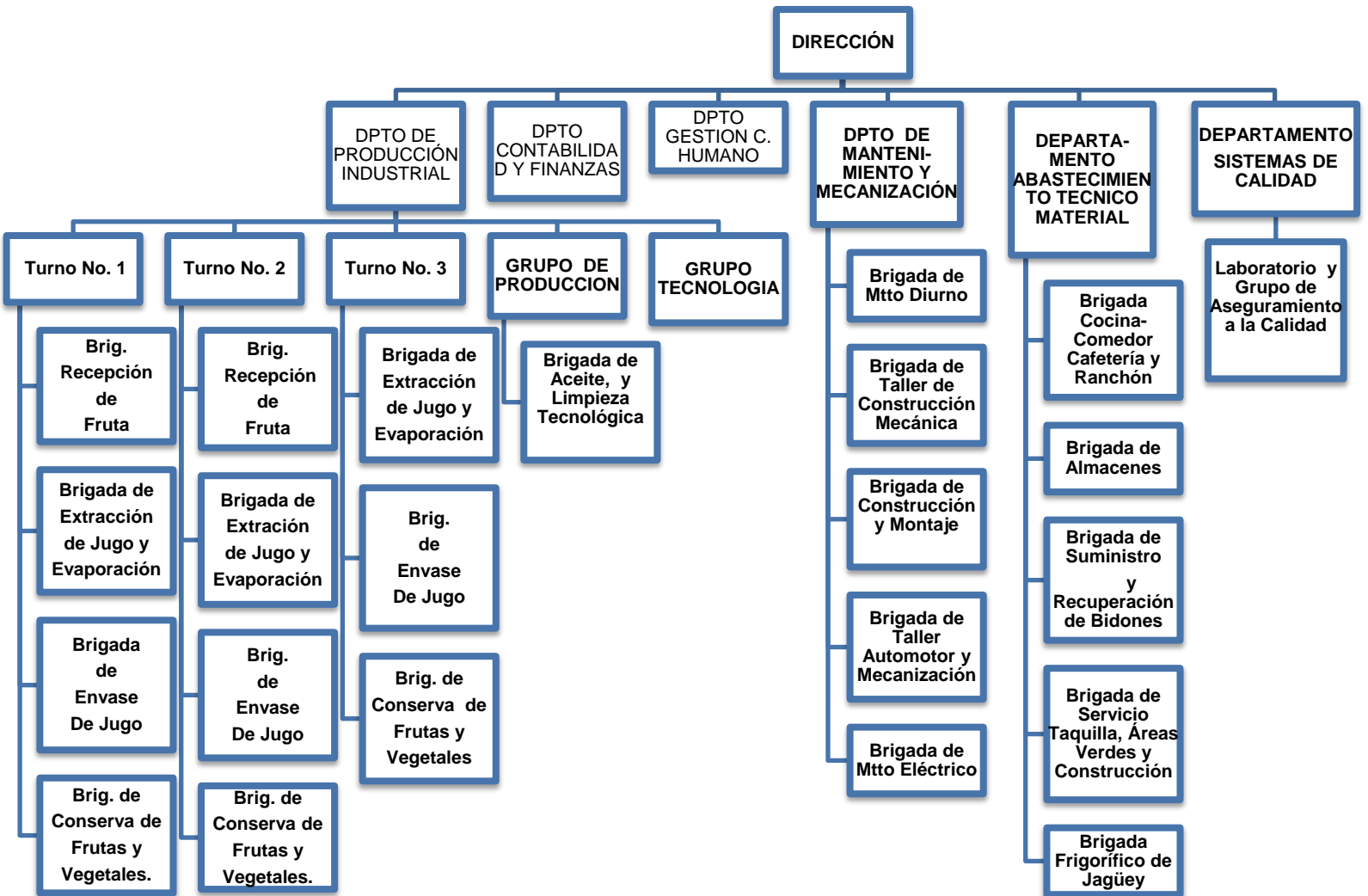
- **Compromiso Social de la UEB**

- Procesar industrialmente frutas y vegetales para comercializar de forma mayorista, jugos concentrados y naturales, jugos simples, celdillas, aceites y derivados para los destinos contratados en moneda nacional y en divisas a través de la comercializadora de la empresa.
- Producir y comercializar de forma mayorista en moneda nacional, subproductos de la industria y hollejo húmedo a entidades del sistema del Ministerio de la Agricultura.
- Prestación de servicios en divisas de vapor, refrigeración, seguridad y protección, energéticos, comedores, abasto de agua dura y tratada, recogida de desechos sólidos, mantenimiento y reparación de obras menores y análisis de laboratorio, talleres para mantenimiento y reparación del parque automotor, servicio de instrumentación, enrollado y mantenimiento mecánico a la planta "La Estancia"

- Comercializar de forma minorista en moneda nacional a los trabajadores de la entidad, productos agropecuarios excedentes del autoconsumo y de los procesos industriales.
- Comercializar de forma minorista artículos industriales y víveres a los trabajadores de la unidad, a través de la tienda de estímulos de la propia entidad, según nomenclatura aprobada, en moneda nacional.
- Brindar servicios de construcción, reparación y mantenimiento de obras menores al sistema y a las viviendas de los trabajadores de la unidad en moneda nacional.
- Prestar servicios en moneda nacional de comedor, cafetería, recreación, reparaciones menores de equipos, a trabajadores de la entidad.
- Prestar servicios de fuerza de trabajo en actividades agrícolas durante el periodo en que la industria se encuentre paralizada por falta de frutas, debido a las afectaciones climatológicas o culminación de campañas.
- Usar eficientemente los recursos naturales, materias primas, materiales e insumos.
- Minimizar y manejar adecuadamente los residuales líquidos, sólidos y emisiones gaseosas.
- Reducir las cargas contaminantes emitidas al medio ambiente.
- Educar y capacitar en temas ambientales al capital humano y exhortarlo a participar en las soluciones a los problemas ambientales de la entidad.

Política Ambiental: El capital humano como parte fundamental del proceso, una vez capacitado debe sentirse comprometido a alcanzar altos volúmenes de producción con elevada eficiencia, calidad y ahorro de portadores energéticos, adoptando tecnologías y procedimientos en continuo perfeccionamiento y en correspondencia con la legislación vigente para la preservación medio ambiental.

ANEXO 2. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA UEB COMBINADO INDUSTRIAL



ANEXO 3. FICHA DE COSTO DEL AGUA SUAVE

UEB combinado Industrial "Héroes de Girón" ORGANISMO: MINAGRI Volumen de Producción para la ficha de costo:180 000 m ³ Capacidad instalada:734 400 m ³		DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: Agua Suave UM: m ³ % Capacidad instalada:25%	
Concepto de gastos Fila		Moneda Total (\$)	De ello: CUC
1	2	3	5
Materias primas y Materiales	1		
Materias primas y Materiales fundamentales	1.1	4786,37	3134,82
Energía Eléctrica	1.3	67 084,76	0
Agua	1.4	21 600,00	0
Depreciación	3.1	1118,16	597,51
Salarios	4.1	7370,00	0
Vacaciones	4.2	994,95	0
Impuestos por la Utilización de la Fuerza Laboral	4.3	2763,75	0
Contribución a la seguridad Social	4.4	1547,70	0
Estimulación	4.5	4029,74	344,74
Total costo		111 295,43	4077,07
Total costo por m ³		0,62	0,022

Fuente: Departamento de Economía de la UEB

ANEXO 4. COSTOS DE LA INVERSIÓN

Inversión total			
Elementos de costo	Cantidad (U)	Costo Unitario (\$/U)	Precio total (\$)
Cable conductor flexible 0,6 2 vías (m)	180	0,716	128,88
Relé OMROM potencia 48v	4	11,37	45,48
Válvula de 3 vías	3	1038	3114
Tubería de una pulgada (m)	60	6,05	363
Transformador 440 a 48 v	1	81,18	81,18
Sensores de nivel	3	40,51	121,53
Electroválvulas	3	105,17	315,51
Conductímetro	1	2318,21	2318,21
Bomba dosificadora	1	2800	2800
Tanque acero inoxidable con agitador	1	4516,3	4516,3
Electrodo kg.	8	13	104
Botonera	1	37,3	37,3
Contactador	1	22,79	22,79
Disyuntor	1	7,45	7,45
Manguera de 8 mm (m)	60	0,96	57,6
Racor ¼	6	3,46	20,76
Válvula acero inoxidable DIM 50	1	127,76	127,76
Tubería de acero inoxidable DIM 50 (m)	4	15,73	62,92
Costo total de adquisición o Inversión (\$)			14244,67

Fuente: Departamento de Economía de la UEB