

Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química



**Tesis presentada en opción al Título Académico de
Máster en Producciones más Limpias**

Título: La reutilización del agua amarilla en el proceso de aceite exprimido en frío de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón

Autor: Ing. Luis Alberto Olivera Díaz

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 Limpias**

Título: La reutilización del agua amarilla en el proceso de aceite exprimido en frío de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón

Autor: Ing. Luis Alberto Olivera Díaz

Tutor: Dr. C. Caridad Cruz Cabrera

Matanzas, Cuba. 2020

“Todo debe simplificarse lo máximo posible, pero no más.”

Albert Einstein



Dedicatoria

Dedico este trabajo: a la memoria de mis padres, a mi esposa, mis hijos y nietos 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.

Agradecimientos

A mis profesores y especialmente a Lourdes y Orosco por enseñarme a ser mejor como persona y por la paciencia que han tenido conmigo.

A mi tutora Dr. C. Caridad Cruz por ayudarme, por su preocupación y paciencia.

A todos los trabajadores de la UEB Combinado Industrial "Héroes de Girón".

A mi esposa, hijos y nietos.

A todas y cada una de esas personas que estuvieron presente en la elaboración de este proyecto muchas gracias.

Resumen

La presente investigación se destina a la valoración de la reutilización del agua amarilla como opción de Producción Más Limpia (PML) para disminuir los residuales líquidos en el proceso de aceite exprimido en frío de naranja y toronja en la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”, perteneciente al municipio Jagüey Grande. Se describe la modificación propuesta al proceso, se realizan cálculos de mecánica de fluido para la selección de dos bombas necesarias en el trasiego del agua hasta el tanque de mezcla y los extractores respectivamente, se evalúa un intercambiador de calor existente en la empresa para su uso en la disminución de la temperatura del agua que llega a los extractores y se calcula el costo necesario para llevar a cabo la modificación, el cual asciende a 24 438 CUC. Ésta modificación tecnológica representa beneficios económicos y ambientales para la empresa, ya que permite un aumento de 16 toneladas, aproximadamente, por campaña en la producción de aceites esenciales, una disminución del consumo de agua de 7 200 m³ por campaña, además de un aumento en la eficiencia total del proceso de un 3,5%.

Summary

This research is intended to assess the reuse of yellow water as a Cleaner Production Option (PML) to reduce liquid waste in the cold-pressed oil process of orange and grapefruit in the Combined Industrial UEB "Héroes de Girón" belonging to the Jagüey Grande municipality. The proposed modification to the process is described, fluid mechanics calculations are made for the selection of two pumps needed in the transfer of the water to the mixing tank and the extractors respectively, the existing heat exchanger in the company is evaluated for use in decreasing the temperature of the water reaching the extractors and calculating the necessary cost to carry out the proposal, which is 24 438 CUC. This technological modification represents economic and environmental benefits for the company, since it allows an increase of approximately 16 tons per campaign in the production of essential oils, a reduction in water consumption of 7,200 m³ per campaign, in addition to an increase in the total efficiency of the process of 3.5%.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1: Análisis bibliográfico	3
1.1. Orígenes de la red nacional de producción más limpia	3
1.2. Concepto de Producción más limpia	3
1.3 Principios básicos de la Producción más limpia	5
1.4 Beneficios de la Producción más limpia.....	6
1.5 Limitaciones y necesidad de aplicación de la producción más limpia en Cuba	7
1.6 Análisis de las metodologías de Producción más Limpia	8
1.7. Residuales líquidos en la industria de procesamiento de frutas cítricas	14
1.8 Métodos de análisis de la transferencia de calor en los intercambiadores ..	15
1.9 Métodos de evaluación de intercambiadores de calor.....	17
1.9.1 Método del Factor de Corrección de la Diferencia Media Logarítmica de Temperaturas (FT–LMTD):.....	17
1.9.2 Método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia..... (ϵ – NTU):	18
1.10 Los aceites esenciales.....	18
1.10.1 Métodos de obtención del aceite	19
1.10.2 Usos de los aceites esenciales de cítricos.....	20
1.11 Conclusiones parciales del Capítulo.....	21
Capítulo 2: Materiales y métodos	22
2.1 Caracterización de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”	22
2.2 Descripción general del proceso de producción de frutas cítricas	22

2.2.1 Caracterización de los principales equipos que intervienen en el proceso de producción	22
2.3 Metodología para identificar los focos que generen opciones de Producción Más Limpia	22
2.3.1 Planeación y organización	22
2.3.2 Compromiso y organigrama de la empresa	22
2.3.3 Fase Pre-evaluativa	22
2.3.4 Fase Evaluativa	23
2.3.5 Fase de Síntesis	23
2.4 Metodología para la selección de las bombas propuestas. (Balance de mecánica de fluido).....	23
2.4.1 Cálculo de la carga de las bombas propuestas	23
2.4.2 Cálculo del NPSH del sistema	27
2.4.3 Evaluación del adecuado funcionamiento del sistema de Bombeo	28
2.5 Balance en el tanque mezcla.....	28
2.6 Balance en el intercambiador de calor.....	29
2.7 Metodología para la evaluación del intercambiador de calor	29
2.7.1 Evaluación del intercambiador de calor por el método ($\epsilon - NTU$)	29
2.7.2 Evaluación hidráulica del intercambiador de calor propuesto	31
2.7.2.1 Calculo del lado de los tubos	32
2.7.2.2 Calculo del lado de la carcasa	35
2.8 Evaluación económica de la propuesta	38
2.8.1 Balance de masa para obtener el volumen de producción de aceite después de la modificación propuesta.....	38
2.8.2 Evaluación económica de la propuesta	41
2.9 Beneficios de la propuesta de PML para el medio ambiente	43

2.10 Conclusiones parciales del capítulo.....	43
Capítulo 3: Análisis de resultados.....	44
3.1 Caracterización de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”	44
3.2 Descripción general del proceso de producción de frutas cítricas	44
3.2.1 Caracterización de los principales equipos que intervienen en el proceso de producción	45
3.3. Etapa de planificación y organización.....	46
3.3.1 Compromiso y Organigrama de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”.....	46
3.4. Etapa Pre evaluativa.....	47
3.5 Etapa Evaluativa	47
3.5.1 Caracterización del área y de la industria	47
3.5.2 Identificación de los diferentes problemas ambientales en la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón.....	48
3.5.3 Descripción del proceso de producción del aceite exprimido en frío	49
3.6 Etapa de síntesis	50
3.6.1 Situación actual	50
3.6.2 Recomendaciones	50
3.6.3 Cálculos Necesarios para selección de las bombas	52
3.7 Balance en el tanque mezcla.....	57
3.8 Evaluación del intercambiador de calor por el método ϵ -NTU	58
3.8.1 Para determinar el flujo de glicol necesario para obtener la temperatura deseada en la salida del intercambiador	59
3.8.2 Resultados de la evaluación del intercambiador por el método (ϵ – NTU)	59
3.8.3 Balance hidráulico del intercambiador de calor de carcasa y Tubos	60
3.8.3.1 Calculo del lado de los tubos	61

3.8.3.2 Cálculo del lado de la carcasa:	64
3.9 Evaluación económica de la opción de producción más limpia propuesta ..	66
3.9.1 Balance de masa para obtener el volumen de producción de aceite después de la modificación propuesta.....	66
3.9.2 Evaluación económica de la propuesta	68
3.10 Beneficios de la propuesta de PML para el medio ambiente	69
3.11 Conclusiones parciales del capítulo	69
Conclusiones	70
Recomendaciones	71
Referencias bibliográficas	72
Anexos.....	

Introducción

La UEB Combinado Industrial Héroes de Girón es una industria que procesa mango, guayaba, tomate, piña, naranjas y toronjas para obtener jugos naturales, concentrados congelados y asépticos, forraje cítrico para alimento animal, pulpas, pastas, néctares y conservas de frutas tropicales y aceites esenciales derivados de la naranja y la toronja.

Los procesos de producción se sustentan en la garantía de la materia prima, el equipamiento tecnológico y los recursos humanos, además juegan un papel importante los servicios que se necesitan como vapor, aire comprimido, electricidad, agua tratada o suave, agua de enfriamiento, etc.

En el proceso de aceite esencial exprimido en frío la cantidad de agua a añadir para recuperar el aceite depende del tipo de fruta con que se esté trabajando, del número de copas, del calibre, etc., por lo que se hace difícil aplicar la cantidad óptima. Sin embargo, se ha determinado un amplio rango de agua que va desde 800 a 1200 L/h/extractor. La eficiencia en el sistema de extracción puede recuperar entre 75 % y 85% del aceite disponible en la fruta si se emplea la adecuada cantidad de agua, siendo su principal residuo la aguas amarillas con concentración de aceite esencial derivado del proceso de centrifugación.

La entidad posee un Sistema de Calidad certificado por la Oficina Nacional de Normalización, la firma francesa BVQI y las Normas Internacionales ISO, desde abril del 2001.

La industria se propone mantener el lugar que se ha ganado en el mercado y en el logro de esta meta, hay que continuar mejorando la eficiencia industrial y disminuir los gastos al mínimo con un consiguiente aumento de la calidad del producto final.

Por la importancia que tiene el tema de la Producción Más Limpia (PML) en la industria se realizan grandes esfuerzos para implementar este tipo de estrategia y lograr con ella la eliminación de contaminantes en el origen y un ahorro de agua, energía, materia prima y por lo tanto un aumento de la eficiencia. Por otro lado, es una forma de pensar en cómo producir bienes y servicios con mínimo impacto ambiental, bajo las limitaciones tecnológicas y económicas actuales.

Según lo anterior se plantea como **problema científico**:

¿Cómo reutilizar el agua amarilla para disminuir la generación de residuales líquidos y el consumo de agua, aumentar la producción de aceites esenciales en el procesamiento de frutas cítricas en la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón a través de la evaluación de opciones de producción más limpia?

En cuanto a la solución de dicho problema se plantea la **siguiente hipótesis**:

Si se adoptan cambios tecnológicos en la línea de aceite exprimido en frío como opción de Producción Más Limpia en el procesamiento de frutas cítricas se logra disminuir los residuales líquidos, aumentar la eficiencia de la planta, reducir la explotación del agua como recurso natural y mejorar el desempeño ambiental de la entidad.

Donde se tiene como objetivo general:

Proponer opciones de producción más limpia para disminuir los residuales líquidos en el procesamiento de frutas cítricas en la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón.

Para ello se siguen los objetivos específicos:

- 1) Disminuir la generación de los residuales líquidos.
- 2) Determinar la temperatura de salida del agua del tanque mezcla.
- 3) Seleccionar las bombas a instalar.
- 4) Evaluar el área del intercambiador de calor necesaria para lograr la temperatura deseada.
- 5) Evaluar económicamente la modificación propuesta.

Capítulo 1: Análisis bibliográfico

En el presente capítulo se realiza un análisis conceptual y bibliográfico sobre diferentes términos que fundamentan las prácticas de la presente investigación, los aceites esenciales de frutas cítricas, la producción más limpia, con el objetivo de describir las principales herramientas que apoyan el desarrollo de la investigación.

A nivel industrial el pensamiento medioambiental ha ido evolucionando desde una mentalidad de productores inconscientes del costo ambiental hasta una mucho más avanzada, la de producción más limpia.

1.1. Orígenes de la red nacional de producción más limpia

En Cuba, la Red Nacional de producción más limpia (RNPML) fue establecida en mayo del 2001 también dentro del marco del Programa Internacional de PML desarrollado por ONUDI y con el apoyo financiero del Gobierno de Austria y actualmente forma parte de la Red Latinoamericana. Comenzó con tres puntos focales establecidos en el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA), el Instituto de Investigaciones para los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA) y el Centro de Información y Gestión de Educación Ambiental (CIGEA-AMA) pertenecientes a los ministerios de la Industria Alimenticia, la industria Azucarera y la Agencia de Medio Ambiente respectivamente. A mediados del 2003 se incorpora el punto focal que radica en el Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical (IIFT) y pertenece al Ministerio de la Agricultura y el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB).

Los puntos focales son los responsables de la ejecución de asesorías completas de PML, el apoyo técnico a los sectores industriales, productivos y de servicio así como la promoción de inversiones y la transferencia de tecnología. Como otra de sus funciones está la preparación de expertos nacionales para los diferentes sectores económicos. (Manual de producción más limpia en el Sector Industrial Cítrico, 2009).

1.2. Concepto de Producción más limpia

El concepto de producción más limpia surge como una estrategia de prevención orientada al uso eficiente de los recursos naturales, insumos y materias primas; con el objetivo de disminuir tanto los riesgos a la salud humana como al ambiente, y al mismo tiempo mejorar la productividad y competitividad de la empresa.

A continuación se refieren algunos conceptos de producción más limpia según varios autores:

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. El objetivo de PML es lograr la reducción de los impactos ambientales del proceso productivo, enfocándose en la mejora de procesos y productos con el fin de evitar problemas ambientales antes de que estos ocurran, además de que no solo contempla la reducción de las cargas contaminantes y el uso adecuado de los recursos naturales, sino también la integración de beneficios económicos, ambientales y sociales originados como consecuencia del proceso industrial y la producción y comercialización de un producto. (Paredes, 2014).

Colectivo de Autores, (2005) y Varón Jiménez, (2013) afirman la producción más limpia hace referencia a una mentalidad que enfatiza la producción de nuestros bienes y servicios con el mínimo impacto ambiental bajo la tecnología actual y límites económicos. Reconoce que la producción no puede ser absolutamente limpia. La realidad práctica asegura que habrá residuos de algún tipo, de varios procesos y productos obsoletos.

Dare, (1996) afirma que la producción más limpia consiste en mejorar la competitividad de la compañía, mediante la implementación de técnicas novedosas se puede incrementar la eficiencia de la producción y reducir los residuales. Cambiar el proceso de producción para prevenir o reducir la producción de residuales es más económicamente efectivo que usar tratamientos de residuales al final del tubo.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA 2006) 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.

Rigola Lapena, (1998) plantea que la producción más limpia es: La aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva integrada en los procesos, productos y servicios a fin de aumentar la eficiencia y reducir el riesgo para los humanos y el medio ambiente.

Dodic et. al (2010), la PML es uno de los instrumentos más eficaces para disminuir el riesgo que los materiales tóxicos representan para los seres humanos lo que genera una

serie de beneficios para la sociedad y los empleados a partir de la disminución de la contaminación, prevención de accidentes y compromiso con el talento humano.

Severo et al (2015) La define como una estrategia que posibilita la inserción de la gestión ambiental en el contexto de las organizaciones bajo una perspectiva sistémica de producción, aplicable a procesos, productos y servicios de cualquier tipo de industria, que le permite a las organizaciones, hacer uso eficiente de insumos y energía en el desarrollo de los procesos, lo que conlleva a un aumento de la productividad, competitividad y el mejoramiento del rendimiento organizacional, además de que requiere migrar de un enfoque operativo a una orientación de negocios.

Según *United Nations Industrial Development Organization [UNIDO]; United Nations Environment Programme [UNEP]*, (2010); Li y Hamblin, (2016); Luken, *et.al*, (2015) y Cardoso *et. al*, (2016). Producción más limpia es una estrategia de carácter preventivo que genera mejoras en el desempeño ambiental, social, económico y competitivo.

En resumen este autor define la Producción más limpia como la conservación de las materias primas, el agua y la energía, la eliminación de las materias primas tóxicas y la reducción de la cantidad y la toxicidad de todas las emisiones al agua y a la atmósfera, y de los residuos. Tiene por objeto reducir todos los impactos durante el ciclo de vida del producto, desde la extracción de las materias primas hasta el residuo final y supone la inclusión de aspectos medioambientales en el diseño y distribución de los servicios.

1.3 Principios básicos de la Producción más limpia

Bermúdez, Y., (2013), Fernández, Linhares, Sousa & Rodríguez, (2015), y Cabello, (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).

1.4 Beneficios de la Producción más limpia

Entre los principales beneficios que ofrece la producción más limpia según Severo *et.al.*, (2012), Nadour, (2012) y Zeng *et.al.* (2010) ahorro de costes de tratamiento de las corrientes residuales, disminuye el consumo de agua, energía y materias primas, aumenta la productividad de la empresa, conserva los recursos naturales, armoniza las actividades con el ecosistema, favorece la imagen de la empresa, incrementa los beneficios económicos, posibilita el acceso a nuevos mercados, reduce el riesgo de sanciones de la autoridad ambiental, incrementa la sustentabilidad del producto y su aceptación por el cliente, decrecimiento de costos de producción, posibilita la producción de servicios de calidad ambiental pertinentes a la demanda del mercado.

Por otra parte según Lin *et. al.*, (2013); Van Berkel, (2015); Cardoso *et.al.*,(2016) con las opciones de Producción más limpia se logra la implementación de buenas prácticas orientadas a racionalizar el consumo de recursos, modificación de métodos de trabajo, rediseño de servicios , incorporación de tecnologías más eficientes y menos nocivas para el medio ambiente, se simplifican las técnicas requeridas para el tratamiento al final del proceso y para la disposición final de los residuos, 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, Henríques & Catarino (2014) y Eg, S. *et.al.*, (2010), mediante estudios realizados en pequeñas y medianas empresas, concluyen que la aplicación de la metodología de valor sostenible como estrategia de apoyo a la PML, genera resultados de carácter financiero, operacional y comercial económico, ambiental y social tales como:

- Financieros: reducción de costos, por optimización del uso de las materias primas, ahorro por mejor uso de los recursos (agua, energía, etc.), menores niveles de

inversión asociados a tratamiento y/o disposición final de desechos y aumento de las ganancias.

- Operacionales: Aumenta la eficiencia de los procesos, mejora las condiciones de seguridad y salud ocupacional, mejora las relaciones con la comunidad y la autoridad, reduce la generación de los desechos y, garantiza un efecto positivo en la motivación del personal
- Comerciales: Permite comercializar mejor los productos posicionados y diversificar nuevas líneas de productos, mejora la imagen corporativa de la empresa, logra el acceso a nuevos mercados y asegura un aumento de las ventas y un margen de ganancias
- Beneficios ambientales, que contribuyen al logro en el desempeño de este programa, destacando su impacto en la disminución del volumen de desechos sólidos y efluentes

La evidencia confirma que las técnicas preventivas de producción más limpia generan beneficios van dirigidos a la empresa, los clientes y al medio ambiente. (Molina, *et.al.* (2015) y Cabello *et.al.* (2016). 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; , los cuales pueden, en algunos casos, reciclarse, reutilizarse o recuperarse, lo que la convierte en la herramienta para disminuir los impactos ambientales, reducir costos, mejorar el desempeño competitivo, mejoras en el entorno laboral, contribuye a la seguridad industrial, la higiene, las relaciones laborales y la motivación (Assenova *et.al.* (2016); Wahala *et.al.* (2012); *United Nations Industrial Development Organization & United Nations Environment Programme*, (2010).

1.5 Limitaciones y necesidad de aplicación de la producción más limpia en Cuba

La introducción de la producción más limpia (PML) en Cuba ha tenido ciertas limitaciones debido a la insuficiente inclusión en las estrategias ambientales vigentes tanto nacionales, como sectoriales y las territoriales, la forma de abordar las soluciones a los problemas ambientales enfatizando el uso de tecnologías al final del tubo en lugar de la toma de acciones de carácter preventivo a lo largo del ciclo de vida del producto o servicio, la carencia de recursos materiales y la necesidad de financiamiento para llevar a cabo inversiones, así como también , la falta de conocimiento por parte de directivos, personal

técnico y demás trabajadores para entender lo que significa la aplicación de este concepto y los beneficios económicos y ambientales que reporta para la empresa cubana.

A inicios del año 2003, el Centro de Información, Gestión y Educación Ambiental (CIGEA) del CITMA publicó el documento “La PML en las políticas y prácticas vigentes en Cuba” donde se describe y analiza el marco institucional, regulatorio y ambiental en el cual se inserta el trabajo en el campo de la PML lo cual creó las bases para la formulación en el año 2004 del “Plan nacional para la introducción de la PML en la gestión ambiental empresarial”.

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

1.6 Análisis de las metodologías de Producción más Limpia

En las consultas realizadas a las distintas fuentes bibliográficas se encontró una amplia variedad de estrategias para la implementación de las PML las cuales se exponen a continuación:

La Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) ha conducido un programa intensivo y proambiental, acompañado de una campaña de información y entrenamiento para promover tecnologías limpias o ambientalmente amigables. En conjunto con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la ONUDI desarrolló el Manual de Auditoria y Reducción de Emisiones y Residuos Industriales que contiene la metodología básica de Producción Más Limpia

Ayudado en esta metodología, el Proyecto DESIRE por sus siglas en inglés (Demonstration in Small Industries for Reducing Waste) se inició en 1993 en la India. La metodología DESIRE se ha aplicado con éxito en varios sectores industriales del mundo, está integrada por cinco fases y cada una de ellas contempla varias actividades:

Otra Metodología es la propuesta por el Centro Nacional de Producción Más Limpia y Tecnologías Ambientales (CNPMLTA), similar a la Metodología de DESIRE está conformada por fases.

Otra metodología es la planteada por el Centro Boliviano de Promoción de Tecnologías Sostenibles, donde se establecen diferentes etapas enunciadas a continuación.

Expertos cubanos por su parte plantean que para llevar a cabo un programa de PML se requiere crear un grupo formado por un coordinador ambiental, un responsable de seguridad y salud en el trabajo, un tecnólogo, un especialista de mantenimiento, operarios con experiencias, el comprador y un especialistas de contabilidad y economía, quienes deben establecer un programa de trabajo que contemple las etapas siguientes:

- Disponibilidad y recogida de datos de la organización
- Determinar en cuánto, a dónde y por qué se generan los residuos
- Genera opciones de PML
- Evaluación de la factibilidad técnica, económica y ambiental
- Implementación
- Control, seguimiento y mejoramiento continuo
- Prevención de la generación de residuos y emisiones
- Reciclaje
- Tratamiento
- Eliminación segura

Todas estas metodologías 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) y está integrada por 5 fases donde cada una de ellas contempla varias actividades las cuales se describen a continuación:

- **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 P+L, 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.
 - 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 son:
 - a) Metodología de disposición final de residuos.

- b) Incremento en la productividad.
- c) Emisiones contaminantes al aire, agua y/o suelo.
- d) Costo por confinamiento de residuos y/o emisiones.
- e) Condiciones de operación y proceso.
- f) Costos por consumos de materias primas y energéticas.
- Identificar barreras y soluciones: Las principales barreras que pueden encontrarse son:
 - a) Actitud pesimista del personal y de la dirección.
 - b) Falta de comunicación interdepartamental.
 - c) Problemas económicos.
 - d) 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, 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 el cual se identifican las distintas 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.
- Identificación de las entradas y salidas: Se identifican 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 balances, 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.

- 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. Estos rendimientos se comparan con los teóricos a fin de diagnosticar la eficiencia del proceso y en su caso, razonar las ineficiencias para poder determinar las medidas a tomar.
 - Investigar el potencial de segregación de las corrientes: Es particularmente crítico analizar la conveniencia de mezclar corrientes de distinta clasificación. Aunque la mezcla es recomendable en algunos casos, en muchos casos las mezclas convierten problemas individuales 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 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:

- a) Calidad de materias primas
- b) Escasez de materiales
- c) Sistema de administración de compras

d) Inadecuado almacenamiento

2. Causas relacionadas con la tecnología:

- a) Falta de mantenimiento e inadecuada operación
- b) Mal Diseño del Proceso o del equipo
- c) Mala Disposición de las Instalaciones
- d) Tecnología obsoleta

3. Causas relacionadas con las prácticas operativas:

- a) Falta de Personal calificado
- b) Desmotivación de los empleados

4. Causas relacionadas con los residuos:

- a) No se tiene un programa de reúso o reciclaje.
- b) 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 producción más limpia.

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 ultimo 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:
 - a) Opciones Técnicas contra Procedimientos
 - b) Opciones relativamente sencillas contra Opciones complejas
 - c) 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 para dar ganancias a la empresa. Al 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:

- a) Tasa Interna de Retorno
- b) Valor Presente y Futuro de la Inversión
- c) Periodo de Recuperación
- Evaluación ambiental: Esta 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 exige de un plan de aplicación 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:

- a) Priorización de la aplicación de las opciones que dependen de los recursos disponibles.

- b) Preparación de las especificaciones técnicas requeridas, la preparación del sitio, preparación de la documentación para la licitación, etc.
- c) Asignación de las responsabilidades y preparación de programas de supervisión y revisión.

El plan de mejoras contiene:

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

Después de decidir las opciones de mejoras que serán implantadas, hay que desarrollar los objetivos e indicadores de lo que se va a llevar a cabo para clarificar cuales 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 el proceso productivo.

1.7. Residuales líquidos en la industria de procesamiento de frutas cítricas

La industria del procesamiento de frutas cítricas al igual que cualquier otra no está libre de contaminantes y genera gran cantidad de residuales, sobre todo líquidos, los cuales contienen desechos de los procesos mecánicos de separación y preparación como semillas, hojas, tallos y cáscaras que contienen ácidos, álcalis, materiales orgánicos y tóxicos, como los aceites esenciales que son descargados en distintos períodos de tiempo y en ocasiones a altas temperaturas.

Bousbia, *et.al*, (2009), Abreu. S, *et.al* (2011) y Díaz-Molina, Rodríguez- Rico, Rodríguez-Negrín, & Cuellar-de la Cruz, (2013) plantean que en la realización de subprocesos industriales como la extracción de aceite, se desarrollan diversas actividades que constituyen una fuente generadora de residuos líquidos, que contaminan el medio ambiente, dada la alta concentración de materia orgánica.

Autores como Oreja y Armas, (2012) y Bautista, (2015) plantean que los residuales líquidos traen consigo problemas medioambientales como las emisiones de residuos a los ríos y fuentes de abastecimiento de agua, lo cual hace necesario que se establezcan estrategias ambientales que involucren comportamientos amigables con el medio ambiente.

En cuanto a la UEB "Héroes de Girón" los residuales líquidos que se generan en la empresa son fundamentalmente las disoluciones de limpieza que contienen hidróxido de sodio con una concentración del 2%, aguas negras, los enjuagues de los tanques de jugo y las aguas amarillas procedentes de las centrifugas que contienen aceites esenciales y sólidos suspendidos por lo que éstas representan el principal contaminante. Según Arango-Garcés *et al.* (2012), estos residuales se pueden disminuir a través de diferentes vías, entre las que se encuentran los cambios tecnológicos, la adopción de medidas organizativas para mejorar la gestión de las entidades contaminadoras, la separación en la fuente de los diversos residuales generados en la instalación para permitir su manejo diferenciado de acuerdo a su peligrosidad, grado de contaminación, posibilidades de tratamiento y aprovechamiento; lo que reduce los volúmenes y costos de manejo de los residuales.

1.8 Métodos de análisis de la transferencia de calor en los intercambiadores

Según Hernández y Lesino (2010), el diseño térmico de intercambiadores de calor se dirige a calcular el área de la superficie adecuada de transferencia de calor para un servicio dado, y se considera que el análisis hidráulico determina la caída de presión de los fluidos que fluyen en el sistema y, por consiguiente, la potencia de bombeo o el trabajo necesario para mantener el flujo. Los problemas más comunes de cálculo en intercambiadores de calor son la evaluación y el diseño o dimensionado.

El problema de la evaluación se determina según el funcionamiento termohidráulico de un intercambiador del que se conocen todas las especificaciones. Esto quiere decir que la evaluación determina el flujo de calor transferido, las temperaturas de salida y la caída de presión de las corrientes para un intercambiador de calor existente con un flujo establecido, con las temperaturas de entrada y, por consiguiente, el área de transferencia de calor y las dimensiones del equipo disponibles.

El dimensionado, sin embargo, se ocupa de la determinación del tamaño del intercambiador de calor. Aquí, se determinan el área y demás especificaciones de un

intercambiador de calor apropiado para lograr el intercambio entre las corrientes caliente y fría, según los requerimientos de temperatura, el flujo de calor y las caídas de presión (Díaz, 2014).

Tanto el cálculo de evaluación como el de dimensionado de un intercambiador de calor requieren la aplicación de la evaluación termohidráulica, con ciertas variaciones para adaptarla a cada modo de cálculo.

El cálculo de las dimensiones y características del intercambiador se puede realizar utilizando los métodos de la (LMTD) o de la eficiencia.

Por lo que respecta a las pérdidas de carga ΔP se puede considerar que en ellas influyen:

- a) El rozamiento del fluido cuando atraviesa el intercambiador, que supone más del 90% del total de las pérdidas de carga.
- b) La aceleración o deceleración del fluido, asociada a que en el intercambiador se produzca un calentamiento o un enfriamiento del fluido.
- c) Las pérdidas a la entrada y a la salida, originadas por la contracción y expansión del fluido, respectivamente; estas pérdidas tienen importancia en núcleos cortos (L pequeña), altos valores del número de Re , pequeños valores de $Amín/AFrontal$ y en los gases; en los líquidos son despreciables.

Desde el punto de vista térmico el cálculo de intercambiadores de calor se basa en la definición del coeficiente global de transferencia de calor (U), que representa la velocidad de la transferencia de calor entre los fluidos. Este depende de los coeficientes peliculares de transferencia de calor ($h_{i,o}$) en las dos caras de la superficie que separa los fluidos, de las propiedades físicas de los fluidos y de cómo estas dependen de la temperatura, además de la geometría de la pared y de sus propiedades físicas (Shilling, 2000; Incropera y DeWitt, 2011). Tiene en cuenta las resistencias individuales y globales a la transferencia, incluida la de la pared (R_w) (Branan, 2002). La resistencia de la pared depende de la conductividad térmica del material, y los coeficientes individuales de las propiedades físicas de los fluidos (Díaz, 2014).

No se puede dejar de mencionar que en un intercambiador de calor, además de la transferencia de calor entre los dos fluidos, existe transferencia de calor con el medio circundante, a la cual se le denomina pérdidas de calor. Aunque en general este flujo de calor hay que tenerlo en cuenta, la práctica habitual es minimizarlo por recubrimiento de la superficie exterior con aislamiento térmico. Para el cálculo del flujo de calor entre ambos

fluidos, y el área de intercambio que los separa, no se suelen incluir estas pérdidas (Rizo, 2008).

1.9 Métodos de evaluación de intercambiadores de calor

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

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

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

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

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

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

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

transferencia de calor se resuelve al emplear el método de integración gráfica (Towler y Sinnott, 2008).

1.9.2 Método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia

(ϵ – NTU):

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

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

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

El Método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia es un procedimiento ideal para evaluar el funcionamiento de un intercambiador de calor ya existente, puesto que se emplea cuando el área de transferencia de calor y los detalles de la construcción son conocidos, además la aplicación del método ha crecido y en la actualidad se puede considerar como uno de los procedimientos más aceptados para el diseño y análisis de intercambiadores de calor.

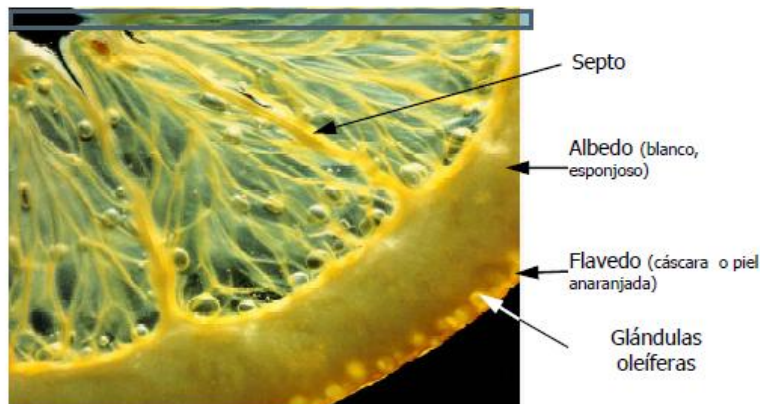
Sin embargo, en algunas circunstancias las temperaturas de los fluidos en las salidas constituyen en sí las incógnitas en un intercambiador de calor dado, por lo que el análisis térmico mediante la diferencia media logarítmica de temperaturas es de naturaleza iterativa y requiere tanteos. En estos casos es más conveniente emplear un método de análisis térmico basado en la efectividad-número de unidades de transferencia que tiene un intercambiador de calor dado para transferir energía.

1.10 Los aceites esenciales

La piel externa de los cítricos, el flavedo, está provisto de un considerable número de pequeñas glándulas, cada una de las cuales contiene una gota minúscula de aceite esencial (fig.1.1). Una eficaz recuperación de estos aceites esenciales, representa una

función importante en las plantas de procesamiento de cítricos correctamente programadas. (John Bean Technologies Corporation, 2008)

Figura 1.1: Composición de la naranja



Fuente: John Bean Technologies Corporation, 2008

De forma general, los aceites esenciales, son productos químicos que forman las esencias odoríferas de un gran número de vegetales y proceden de las flores, frutos, hojas, raíces, semillas y corteza de los vegetales. Son líquidos volátiles, en su mayoría insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales y por lo general no son oleosos al tacto. Pueden agruparse en cinco clases, dependiendo de su estructura química: alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, lactosas y óxidos (Guzmán Hidalgo, 2009).

Los aceites esenciales generalmente son mezclas complejas de hasta más de 100 componentes, los cuales dependen de la variedad de fruta y del método de extracción empleado (Nannapaneni *et al.* 2009).

1.10.1 Métodos de obtención del aceite

Para extraer aceite esencial de un fruto, pueden emplearse diferentes métodos, entre ellos se destacan hidrodestilación, prensado en frío (Günther, 1973), extracción con fluidos supercríticos (Nakatsuet *et al.*, 2000) y extracción por hidrodifusión con microondas y gravedad (Bousbia *et al.*, 2009) y cuando no se utiliza el calor en el proceso de recuperación y refinado del aceite exprimido en frío. (John Bean Technologies Corporation, 2008).

Proceso de recuperación y refinado del aceite exprimido en frío.

El proceso de recuperado en frío: la fruta es colocada sobre la copa inferior del extractor, la copa superior baja forzando hacia abajo el jugo por el interior del filtro, la piel es desgarrada y forzada a través de la copa superior que rompe las glándulas oleíferas. El grupo de la copa superior contiene un anillo rociador con agua a presión sobre la piel durante y después de la etapa de desgarro, emulsionando el aceite a medida que es liberado, posteriormente la emulsión es enviada a un proceso de centrifugación en dos estadios, la primera separa la mayor parte del agua y sólido, produciendo una emulsión rica en aceite llamada comúnmente crema. La segunda centrifugación constituye la etapa de pulido la cual las pequeñas partículas sólidas y el agua son separadas de la crema produciendo aceite purificado.

El agua a utilizar en el proceso de recuperación del aceite debe ser pura sin contaminantes químicos como cloro, amoníaco o sosa cáustica, el agua de condensado vegetal procedente de un evaporador de jugo es la que más se acerca a todos los requisitos para la producción de aceites de cítricos. (John Bean Technologies Corporation, 2008)

1.10.2 Usos de los aceites esenciales de cítricos

Los aceites esenciales han sido ampliamente utilizados desde la edad media como bactericidas, virucidas, fungicidas, antiparasitarios, insecticidas y cosméticos (Bakkali y col. 2008).

Los aceites esenciales son ampliamente usados en alimentos, bebidas, cosméticos, perfumes y en el campo medicinal, en el cual se encuentran aplicaciones específicas tales como sedantes, antiinflamatorios, anticoagulantes y antiespasmódicos. Las bebidas aromatizadas con aceites esenciales de cítricos constituyen el 80% de esta clase de productos, entre ellas resaltan las bebidas gaseosas, los jarabes y los energizantes. (Bakkali y col. 2008; Bauer y col. 2001).

1.11 Conclusiones parciales del Capítulo

- 1) De los residuales líquidos que se generan en la UEB la principal carga contaminante la constituyen las aguas amarillas procedentes de la etapa de centrifugación.
- 2) En la realización de este proyecto se utiliza la metodología de producción más limpia propuesta por PNUMA que consta de 5 etapas: por ser la base de todas las metodologías.
- 3) La industria del cítrico provoca una carga contaminante considerable por lo que la implementación de la Producción Más Limpia es una necesidad.
- 4) El Método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia en la actualidad se puede considerar como uno de los procedimientos más aceptados para el diseño y análisis de intercambiadores de calor conociendo los datos del intercambiador a evaluar.
- 5) Los aceites esenciales tienen una gran demanda en la industria y la medicina por lo que representan una fuente de ingresos para la industria de procesamiento de cítricos.

Capítulo 2: Materiales y métodos

Se definen como objetivo de este capítulo la aplicación de un procedimiento para detectar oportunidades de PML en la línea de aceite exprimido en frío de la UEB combinado industrial Héroes de Girón, a partir de las bases de una metodología específica que permitan disminuir los residuales líquidos en esta industria.

2.1 Caracterización de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

Se realiza una caracterización se describe la misión, visión y el objeto social de la UEB combinado industrial Héroes de Girón.

2.2 Descripción general del proceso de producción de frutas cítricas

Se realiza un descripción de los procesos generales que se obtienen a partir del procesamiento de las frutas cítricas, según descripción de los documentos de trabajo (Departamento de tecnología, 2015).

2.2.1 Caracterización de los principales equipos que intervienen en el proceso de producción

2.3 Metodología para identificar los focos que generen opciones de Producción Más Limpia

2.3.1 Planeación y organización

Para la generación de opciones de PML se realizó una evaluación en cada uno de los procesos que intervienen teniendo en cuenta el estado del equipamiento y la tecnología, nivel de optimización de los procesos, uso racional de los recursos y portadores energéticos, reciclaje, segregación de residuales y procedimientos de operación

2.3.2 Compromiso y organigrama de la empresa

La UEB tiene la misión, visión y los objetivos, así como su compromiso social y ambiental, su política ambiental en el documento que describe el proceso productivo (Departamento de tecnología, 2015).

2.3.3 Fase 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.

2.3.4 Fase Evaluativa

Esta etapa comprende:

- Caracterización del área y la industria (Departamento de tecnología, 2015).
- Caracterización del proceso de aceite esencial (Departamento de tecnología, 2015).
- Determinación del diagrama de flujo tecnológico.
- Realización de los balances de masa y energía.
- Diagnóstico ambiental o identificación de los problemas ambientales.

2.3.5 Fase de Síntesis

En esta etapa de la aplicación de la estrategia de producción más limpia se identifican la opción de producción más limpia, se evalúan dicha opción, y se establece el plan de acción con las medidas a tomar para solucionar el problema en cuestión, se realizan los balances de mecánica de fluidos para seleccionar las bombas.

2.4 Metodología para la selección de las bombas propuestas. (Balance de mecánica de fluido)

2.4.1 Cálculo de la carga de las bombas propuestas

Para el cálculo de la carga de la bomba se utiliza la ecuación de balance mecánico, según la metodología que se presenta a continuación (Rosabal, 2006).

$$\frac{P_1}{\rho_1 * g} + Z_1 + \frac{\alpha_1 * v_1^2}{2 * g} + Hb = \frac{P_2}{\rho_2 * g} + Z_2 + \frac{\alpha_2 * v_2^2}{2 * g} + \sum Hf \quad \text{ec (2.1)}$$

Donde:

P_1 : presión que hay en donde está ubicado el punto #1, Pa.

ρ_1 : densidad del fluido en el punto # 1 a la temperatura en el tanque colector de la estación, kg/m^3 . (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf& Eddy, 1998)

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

Z_1 : altura, m.

α_1 : factor de corrección de energía cinética en el punto # 1.

v_1 : velocidad que hay en donde está ubicado el punto # 1, m/s.

H_b : carga de la bomba, m.

P_2 : presión que hay en donde está ubicado el punto # 2, Pa.

ρ_2 : densidad del fluido en el punto # 2 a la temperatura en el tanque de alimentación, kg/m^3 . (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

Z_2 : altura, m.

α_2 : factor de corrección de energía cinética en el punto # 2.

v_2 : velocidad que hay en donde está ubicado el punto # 2, m/s.

Se analiza la ecuación del balance mecánico por términos obteniéndose:

$$H_b = Z_2 + \Sigma H_f + \left[\frac{P}{g} * \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) - Z_1 \right]_{ec} \quad (2.2)$$

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

En tuberías:

1. Obtener el valor del diámetro y la longitud de la tubería (m).
2. Determinar el valor del área por la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \quad ec \quad (2.3)$$

Donde:

A: área, m^2 .

π : constante matemática.

d: diámetro de la tubería, m.

3. Una vez que se conoce el flujo volumétrico se obtiene el valor de la velocidad para calcular el Reynolds y así determinar el régimen en que se encuentra el fluido para

conocer el factor de fricción y el factor de corrección de energía cinética (α). Se utiliza la siguiente ecuación:

$$q = v * A \text{ ec (2.4)}$$

Al despejar se obtiene que:

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

Donde:

q: flujo volumétrico, m³/s.

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

A: área, m².

$$Re = \frac{\rho * d * v}{\mu} \text{ ec (2.5)}$$

Re: número adimensional de Reynolds.

ρ : densidad del fluido en tuberías, kg/m³. (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

v: velocidad del fluido en tuberías, m/s.

d: diámetro de la tubería, m.

μ : viscosidad del fluido en tuberías, Pa*s. (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

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

5. Después de obtenido el factor de fricción se calculan las pérdidas por fricción en tuberías por la siguiente ecuación:

$$Hf_t = \frac{f * v^2 * L}{d * 2g} \text{ ec (2.6)}$$

Donde:

H_f : pérdidas por fricción en tuberías, m.

f: factor de fricción (Rosabal, 2006).

v: velocidad del fluido, m/s.

L: longitud de la tubería, m.

d: diámetro de la tubería, m.

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

Para determinar el área de la tubería de succión y descarga se sustituyen los datos convenientes y se tiene en cuenta que ambas tuberías son del mismo material y poseen igual diámetro.

6. El valor de los coeficientes de resistencias locales (k) se toma en la literatura consultada (Rosabal, 2006).
7. Teniendo los coeficientes de resistencias locales se calculan las pérdidas por fricción por accesorios. Se utiliza la siguiente ecuación:

$$H_{f_{acc}} = \Sigma k * \left(\frac{v^2}{2 * g} \right) \text{ec (2.7)}$$

Donde:

$H_{f_{acc}}$: pérdidas por fricción por accesorios, m.

k: valor de coeficientes de resistencias locales (Rosabal, 2006).

v: velocidad del fluido, m/s.

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

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

8. Se calculan las pérdidas por fricción totales por la siguiente ecuación:

$$\Sigma H_{f_{totales}} = \left(H_{f_t} + H_{f_{acc}} \right)_{\text{antes de la bomba}} + \left(H_{f_t} + H_{f_{acc}} \right)_{\text{después de la bomba}} \text{ec (2.8)}$$

$\Sigma H_{f_{\text{totales}}}$: pérdidas por fricción totales en las tuberías de la instalación, m.

2.4.2 Cálculo del NPSH del sistema

Para comprobar uno de los criterios de selección de la bomba se calcula el $NPSH_{\text{sistema}}$ por la siguiente ecuación, y se compara con el de los datos de chapa de la bomba.

$$NPSH_{\text{sistema}} = \frac{P_3 - P_v}{\rho * g} \text{ ec (2.9)}$$

Donde:

$NPSH_{\text{sistema}}$: carga neta de succión positiva del sistema.

P_3 : presión de entrada a la bomba, Pa.

P_v : presión de vapor, Pa.

ρ : densidad del fluido, kg/m^3 . (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf& Eddy, 1998)

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

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

$$\frac{P_1}{\rho * g} + Z_1 + \frac{\alpha * \left(\frac{V_1}{2} \right)^2}{2 * g} + H_b = \frac{P_3}{\rho * g} + Z_3 + \frac{\alpha * \left(\frac{V_3}{2} \right)^2}{2 * g} + \Sigma H_f \text{ ec (2.10)}$$

$$H_b = Z_2 + \Sigma H_f + \left[\frac{P}{g} * \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_1} \right) - Z_1 \right] \text{ ec (2.11)}$$

Despejando del balance de energía mecánica se obtiene la siguiente expresión:

$$P_3 = \rho * g * \left[\left(\frac{P_1}{\rho * g} \right) + Z_1 - \left(\frac{\alpha * \left(\frac{V_1}{2} \right)^2}{2 * g} \right) - Z_3 - \Sigma H_f \right]$$

P_3 : presión en la tubería, Pa.

ρ : densidad del agua de condensados a 90°C , kg/m^3 . (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf& Eddy, 1998)

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

P_1 : presión en el tanque colector de la estación, Pa.

v_3 : velocidad en la tubería, m/s.

Z_1 : altura donde está ubicado el punto #1, m.

Z_3 : altura donde está ubicado el punto #3, m.

ΣH_f : pérdidas por fricción totales, m.

α : factor de corrección de energía cinética.

2.4.3 Evaluación del adecuado funcionamiento del sistema de Bombeo

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

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

Dónde:

H_b : Carga de diseño de la bomba para el flujo de operación. Se determina a partir del gráfico de curvas características específico de la bomba (Catálogo de selección EBARA PUMPS, 2015)

q_b : Flujo máximo de diseño de la bomba. Se determina a partir de los datos brindados por el fabricante (Catálogo de selección, EBARA PUMPS, 2015)

$NPSH_b$: Carga neta de succión positiva de la bomba: Se determina a partir del gráfico de curvas características específico de la bomba (Catálogo de selección, EBARA PUMPS, 2015)

2.5 Balance en el tanque mezcla

Se hace necesario calcular la temperatura con que entra la mezcla de agua amarilla y agua de condensado vegetal al intercambiador de calor de tubo y coraza.

Para ello se halla el flujo de calor de la mezcla por la ecuación 2.14.

$$Q_{mezcla} = Q_{AA} + Q_{AC} \text{ec (2.12)}$$

Donde:

Q_{mezcla} : Flujo de calor de la mezcla.

Q_{AA} : Flujo de calor del agua amarilla.

Q_{AC} : Flujo de calor del agua de condensado.

Al desarrollar la expresión 2.14 se obtiene la expresión que posibilita obtener el parámetro deseado (ecuación 2.15).

$$m_{mezcla} \cdot C_{p_{mezcla}} \cdot T_{mezcla} = m_{AA} \cdot C_{p_{AA}} \cdot T_{AA} + (m_{AC} \cdot C_{p_{AC}} \cdot T_{AC}) \text{ec (2.13)}$$

2.6 Balance en el intercambiador de calor

Se necesita calcular la masa de glicol para alcanzar la temperatura deseada para ello se parte de considerar que el calor absorbido es igual al calor cedido (ecuación 2.14).

$$Q_{abs} = Q_{ced} \text{ec(2.14)}$$

Al desarrollar la expresión anterior se puede determinar la masa de glicol por la ecuación 2.15.

$$m_{glicol} \cdot C_{p_{glicol}} \cdot \Delta T_{glicol} = m_{mezcla} \cdot C_{p_{mezcla}} \cdot \Delta T_{mezcla} \text{ec(2.15)}$$

2.7 Metodología para la evaluación del intercambiador de calor

2.7.1 Evaluación del intercambiador de calor por el método (ϵ – NTU)

Para la evaluación del intercambiador de calor de tubo y coraza con dos pasos por el interior de los tubos y uno por la coraza existente en el almacén la industria se utiliza el método de la Eficiencia y el Número de Unidades de Transferencia (ϵ – NTU), puesto que se emplea cuando el área de transferencia de calor y los detalles de la construcción son conocidos:

- Intercambiador de calor de tubo y coraza con dos pasos por los tubos y uno por la coraza.
- Flujo a contracorriente
- Arreglo triangular.

- Diámetro interno de los tubos 38 mm.
- Longitud de los tubos 6 m.
- Números de tubos 60.
- Diámetro de la coraza 500 mm.
- Área del intercambio del equipo 13.68 m².
- Números de pasos por el lado de los tubos 2.
- Números de pasos por la coraza 1.

Para el cálculo de la eficiencia:

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{\max}} = \frac{m_{\text{mezcla}} C_{p_{\text{mezcla}}} (T_{e_{\text{mezcla}}} - T_{s_{\text{mezcla}}})}{C_{\min} (T_{e_{\text{mezcla}}} - T_{e_{\text{glicol}}})} \text{ec (2.16)}$$

Donde:

$$Q = m_{\text{mezcla}} C_{p_{\text{mezcla}}} (T_{e_{\text{mezcla}}} - T_{s_{\text{mezcla}}}) \text{ec (2.17)}$$

$$Q_{\max} = C_{\min} (T_{e_{\text{mezcla}}} - T_{e_{\text{glicol}}}) \text{ec (2.18)}$$

$$C_c = m_{\text{glicol}} C_{p_{\text{glicol}}} \text{ec (2.19)}$$

$$C_h = m_{\text{mezcla}} C_{p_{\text{mezcla}}} \text{ec (2.20)}$$

Donde:

C_c : Capacidad calórica de la corriente fría (kcal/h°C)

C_h : Capacidad calórica de la corriente caliente (kcal/h°C)

ε : Eficiencia del intercambiador (%).

Q : Cantidad de calor transferido (kW).

Q_{\max} : Máxima cantidad de calor transferido (kW).

m_{mezcla} : Flujo másico de la mezcla de agua de condensado y agua amarilla (kg/s).

m_{glicol} : Flujo másico del glicol (kg/s).

$T_{e_{\text{mezcla}}}$: Temperatura de entrada de la mezcla de agua de condensado vegetal y agua amarilla al intercambiador (°C)

$T_{s_{\text{mezcla}}}$: Temperatura de salida de la mezcla de agua de condensado vegetal y agua amarilla del intercambiador (°C)

$T_{e_{\text{glicol}}}$: Temperatura de entrada del glicol al intercambiador (°C)

$T_{s_{\text{salida}}}$: Temperatura de salida del glicol del intercambiador (°C)

$$C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}} \text{ec (2.21)}$$

C_r : Relación de capacidad calórica

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

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

Para este tipo de intercambiador de tubo y coraza por la tabla 11.4 del Incropera y de Witt, 2011:

$$NTU = -1 + Cr^2 \ln \frac{E-1}{E+1} \quad \text{ec (2.22)}$$

$$E = \frac{\frac{2-(1+Cr)}{\varepsilon}}{(1+Cr^2)^{\frac{1}{2}}} \quad \text{ec (2.23)}$$

El número de unidades de transmisión se determina como:

$$NTU = \frac{U_D A}{C_{min}} \quad \text{ec (2.24)}$$

El área del intercambiador necesaria

$$A = \frac{NTU C_{min}}{U_D} \quad \text{ec(2.25)}$$

Donde:

A: área de la sección transversal (m²).

U_D : Coeficiente global de transferencia de calor W/m²K (tabla 2: Valores aproximados de los coeficientes globales de diseño, Kern, 1999).

2.7.2 Evaluación hidráulica del intercambiador de calor propuesto

Es necesario determinar si cumple o no con las caídas de presión, tomando las siguientes consideraciones:

El orden de cálculo a presentar según la metodología descrita en el Kern, 1999, para calcular y diseñar intercambiadores de calor de tubo y coraza

1. Se determina la diferencia de temperatura media logarítmica, LMTD.

$$LMTD = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \quad \text{ec(2.26)}$$

Siendo:

- Fluido caliente por los tubos: agua de la mezcla agua amarilla –condensado vegetal
T1: calculado
T2: temperatura de diseño.
- Fluido frío por la carcasa: glicol- agua al 30%
t1: temperatura de diseño.
t2: temperatura de diseño.

Se determina el factor F de corrección de la LMTD por la figura 18 (Kern, 1999) para un arreglo 1-2. que supere 0,75.

2. Se determinan las temperaturas de diseño para cada fluido. Se determina la viscosidad de los fluidos a T_{ci} (terminal caliente) y T_{ho} (terminal frío), el rango de calentamiento o enfriamiento de cada uno y la diferencia de temperatura entre los mismos en cada extremo del intercambiador.

$$t_{ci} = \frac{T1^{\circ}C + T2^{\circ}C}{2} \text{ec(2.27)}$$

$$t_{ho} = \frac{t1^{\circ}C + t2^{\circ}C}{2} \text{ec(2.28)}$$

- Viscosidad a t_{ci} de agua de mecla (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt): $(N \cdot s/m^2) \text{ Pa} \cdot s = \text{cP}$
- Viscosidad a t_{ho} de agua glicol al 30 % (fig: A-13 pág. 395 Stoecker, 1987).

2.7.2.1 Calculo del lado de los tubos

3. Se determina el área de flujo por intercambiador y número de pasos por los tubos.

a) El área de flujo por los tubos se obtiene

$$at = \frac{Nt \cdot a^t}{144 \cdot n} \text{ec(2.29)}$$

Siendo

- Nt : números de tubos
- a^t : área de flujo por tubos (ft^2)
- n : Numero de pasos en los tubos.

b) Se calcula la velocidad másica correspondiente

$$Gt = \frac{w}{a^t} \text{ec(2.30)}$$

$$Gt = \text{lb/h ft}^2$$

Donde:

w : Flujo másico del fluido

at : área de flujo del fluido por los tubos (ft^2)

c) Se calcula la velocidad lineal

$$Vt = \frac{Gt}{3600 \cdot \rho t} \text{ec(2.31)}$$

Donde

Vt : velocidad del fluido en los tubos: ft / seg

ρt : densidad del fluido en los tubos (lb / ft³). (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

4. Se determinan el calor específico, la viscosidad y la conductividad térmica para el fluido que circula por los tubos a la temperatura calórica o media (según sea el caso). Se determina el número de Reynolds en los tubos.

$$Ret = \frac{D_{interno} \cdot Gt}{\mu} \text{ec(2.32)}$$

$D_{interno}$: Diámetro interno del tubo (ft)

μ = viscosidad del fluido por los tubos (lb / h ft). (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)

Para transformar viscosidad en centipoises * 2,42 = lb / h ft.

5. Se determina el valor del coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos, hi , asumiendo inicialmente que el factor de corrección de viscosidades es igual a la unidad lo que luego será comprobado.

$$hi = JH \frac{k}{D} \frac{cp \cdot \mu}{k}^{1/3} * \Phi t \text{ec(2.33)}$$

- jH : factor para transferencia de calor, adimensional. (fig 24 Kern, 1999)
- k : conductividad térmica, (Btu/lb°F). Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- cp = calor específico del fluido (Btu/h°F). Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- μ : viscosidad del fluido por los tubos (lb / h ft). Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- ϕt = coeficiente de corrección por viscosidad $\frac{\mu}{\mu_w}^{0.14}$

- D_i : diámetro interior de los tubos

6. Temperatura de la pared

Donde:

- μ = viscosidad en el seno del líquido. Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- μ_w = viscosidad a la temperatura de la pared. Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)

Si el fluido caliente circula dentro del tubo

$$t_w = t_f + \frac{h_o/\Phi_a}{\frac{h_{io}}{\Phi_p} + h_o/\Phi_a} * (T_c - t_f) \text{ec(2.34)}$$

Donde:

- t_w es la temperatura de la pared
- a) Se evalúa la viscosidad a la temperatura de la pared (t_w) y se corrige el valor de los coeficientes individuales de transferencia de calor, multiplicando los valores obtenidos en función de Φ_t .

$$h_{io} = h_i \frac{D_i}{D_e} * \Phi_t \text{ec(2.35)}$$

- b) El coeficiente obtenido se corrige para el área referida al diámetro exterior.

7. Factor de obstrucción

$$R_{d\text{calculado}} = \frac{U_c - U_d}{U_c * U_d} \text{ec(2.36)}$$

$$R_{d\text{calculado}}: (\text{hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}/\text{BTU})$$

En la que:

- R_d requerido. (Tabla 12 Kern, 1999, Factores de obstrucción que se aplican para intercambiadores de coraza y tubos.
- Si se cumple que $R_d \text{ calculado} > R_d \text{ requerido}$. Entonces se determina la caída de presión en los tubos.

8. Caída de presión en los tubos

- a) Se evalúa el área de flujo a través del banco de tubos

$$\Delta P_t = \frac{f G_t^2 L n}{5.22 \times 10^{10} * D * \phi_t} \text{ec(2.37)}$$

ΔP_t : caída de presión en los tubos (lb/ ft²)

- f : factor de fricción (ft²/ pulg²). Fig 26 Kern
- L : longitud de los tubos (ft)
- D_i : diámetro interior de los tubos (ft)
- n : números de pasos en los tubos
- G_t : velocidad másica, lb / hft²

ρ : densidad del fluido en los tubos (lb/ft³). (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

- ϕ_t = relación de viscosidad, $\frac{\mu}{\mu_w}^{0.14}$

b) Caída de presión de regreso.

$$\Delta P_r = \frac{4n v^2}{\rho 2g} \text{ec(2.38)}$$

- ΔP_r : caída de presión de regreso (lb/pulg²)
- n : numero de pasos en los tubos
- V : velocidad (ft /seg)

ρ : densidad del fluido en los tubos (lb/ft³). (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

- g' : Aceleración de la gravedad (ft/ s)

c) Caída de presión total en los tubos.

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \text{ec(2.39)}$$

La caída de presión total debe ser menor a 10 psi.

2.7.2.2 Calculo del lado de la carcasa

9. Lado de la carcasa

a) Se evalúa el área de flujo a través del banco de tubos para un intercambiador de un solo paso en la carcasa.

$$a_s = \frac{D_i * C * B}{144 * P_t} \text{ec(2.40)}$$

Donde

- a_s : área de flujo en la carcaza (ft^2)
- DI : diámetro interno de la carcaza (pulg)
- C' : espaciado entre los tubos (pulg)
- B : espaciado entre los deflectores (pulg)
- Pt : distancia centro a centro (pulg)

b) Se evalúa la velocidad másica del fluido.

$$G_s = \frac{W}{a_s} \text{ec(2.41)}$$

- W : flujo másico del fluido (lb/h)
- a_s : área de flujo por la carcaza (ft^2)
- G_s : lb/h ft^2

c) Se calcula la velocidad lineal

$$V_s = \frac{G_s}{3600 \cdot \rho_s} \text{ec(2.42)}$$

Donde

- ρ_s : densidad del agua glicol al 30 % (lb/ft³). Fig A11 Stoecker, 1987)

10. Se determinan el calor específico, la viscosidad y la conductividad térmica para el fluido que circula en la carcasa a la temperatura calórica o media (según sea el caso), y se determina el número de Reynolds para la carcasa.

$$Re_s = \frac{De \cdot G_s}{\mu} \text{ec(2.43)}$$

- De = diámetro equivalente (ft)
- G_s = velocidad másica para la coraza (lb/hft²)
- μ = viscosidad del fluido por la coraza (lb /hft). Fig A13 Stoecker, 1987)

a) Para el arreglo en triangular que presenta el intercambiador el diámetro equivalente

$$De = \frac{4 \left(\frac{1}{2} Pt * 0.86 Pt - \frac{\frac{1}{2} * \pi D_o^2}{4} \right)}{\frac{1}{2} * \pi D_o} \text{ec(2.44)}$$

- Do : diámetro exterior de los tubos (pulg)

11. Se calcula la caída de presión en la carcasa.

$$\Delta P = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5.22 \cdot 10^{10} \cdot D_e \cdot \rho \cdot \Phi_s} \text{ec(2.45)}$$

Donde:

- Numero de cruces,
- $N + 1 = 12 L/B$
- L: longitud de la coraza (ft)
- f: factor de fricción (ft/pulg²). (fig.29 Kern, 1999)
- D_s : diámetro de la coraza (ft)
- D_e : Diámetro equivalente (ft)
- G_s : velocidad másica (lb/hft²)
- ϕ_s = relación de viscosidad $\frac{\mu}{\mu_w}^{0.14}$

La caída de presión debe ser inferior al valor impuesto al fluido en la carcasa 10 PSI.

12. Se determina el valor del coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa, h_o ;

$$h_o = JH \frac{k}{D_e} \frac{cp \cdot \mu}{k}^{1/3} * \Phi_s \text{ec(2.46)}$$

- JH : Factor para la transferencia de calor, adimensional (fig 28 Kern, 1999)
- k : conductividad térmica, (BTU/h ft²°F). (fig. A12 Stoecker, 1987)
- cp = calor específico del fluido (BTU/ kg°F). (fig. A14 Stoecker, 1987)
- μ : viscosidad, centipoises * 2,42 = (lb/ft h) fig. A13 Stoecker, 1987)
- ϕ = relación de viscosidad $\frac{\mu}{\mu_w}^{0.14}$
- D_e : diámetro equivalente (ft)

13. Se determina el valor del coeficiente global de transferencia de calor U_c empleando los factores de obstrucción para cada corriente.

$$U_c = \frac{h_{io} \cdot h_o}{h_{io} + h_o} \text{ec(2.47)}$$

14. Mediante la ecuación de diseño se evalúa el área requerida por el problema y se compara con el área disponible calculada en base al número de tubos, longitud y diámetros elegidos.

$$A1 = \frac{Q}{Uc * LMTD} ec(2.48)$$

15. Cumplidos todos los requisitos el intercambiador diseñado es el apropiado para el servicio deseado.

- Área calculada ($A1$) < área intercambiador ($Aint$)
- Coeficiente global de transferencia de calor de $Uc >$ coeficiente global de transferencia de calor de diseño Ud .
- Si se cumple que $Rd \text{ calculado} > Rd \text{ requerido}$
- Las caídas de presión en el intercambiador sean menores a 10 PSI

2.8 Evaluación económica de la propuesta

Para llegar a obtener el nuevo volumen de producción o sea las toneladas por campaña de aceite pulido se realiza un balance de masa en cada uno de los equipos que componen el proceso y se calcula la eficiencia de cada etapa.

2.8.1 Balance de masa para obtener el volumen de producción de aceite después de la modificación propuesta

- Flujo de agua amarilla que entra al extractor en la mezcla: $\frac{L}{h}$
- Flujo de la mezcla: $\frac{L}{h}$
- Flujo de la emulsión débil: $\frac{L}{h}$
- % de aceite en la emulsión débil antes de la modificación: %
- Densidad del aceite exprimido en frío: $\frac{kg}{m^3}$
- Contenido de aceite en la fruta: $\frac{L}{t}$
- Régimen de molienda: $\frac{t}{h}$
- Duración de la campaña: días.
- Horas trabajadas diarias: h
- % de aceite en el agua amarilla: %
- Flujo de la emulsión fuerte: $\frac{L}{h}$
- % de aceite en los lodos de la centrífuga deslodadora: %

- Flujo de lodos en la centrífuga pulidora: $\frac{L}{h}$
- % de aceite en los lodos de la centrífuga pulidora: %

Tabla 2.1: simbología

Simbología	
Flujo de agua de condensado	AC
Flujo de agua amarilla	AA
Flujo de emulsión débil	ED
Flujo de emulsión fuerte	EF
Flujo de lodos	L
Flujo de aceite pulido	AP
Flujo de mezcla	M
% de aceite en agua de condensado	%A en AC
% de aceite en agua amarilla	%A en AA
% de aceite en emulsión débil	%A en ED
% de aceite en emulsión fuerte	%A en EF
% de aceite en mezcla	%A en M
% de aceite en lodos	%A en L

El primer paso es conocer el % de aceite que se incorpora a la emulsión débil a partir de la mezcla que se agrega a los extractores para ello se realiza un balance de masa en el tanque mezcla:

Balance Total: AA+AC=MEZCLA

1. Etapa de extracción.
 - Balance por componente (aceite):

$$\%A \text{ en AA} \cdot AA + \%A \text{ en AC} = \%A \text{ en M} \cdot Mec \quad (2.50)$$

- Una vez obtenido el % de aceite en la mezcla el nuevo % de aceite en la emulsión débil queda:

$$\%A \text{ en ED} = \%A \text{ antes mod} + \%A \text{ en Mec} \quad (2.51)$$

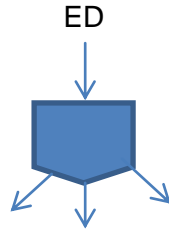
- Por lo que el aceite total en la alimentación o sea en la emulsión débil es:

$$A \text{ total en ED} = \frac{ED \cdot \%A \text{ en ED}}{100} \text{ec (2.52)}$$

- En el caso de la eficiencia del extractor:

$$\text{eficiencia del extractor} = \frac{A \text{ total en ED}}{\text{contenido de A en fruta} \cdot \text{régimen de molienda}} \cdot 100 \text{ec (2.53)}$$

2. Etapa de Desludado.



EF L AA

$$ED = EF + AA + L \quad \text{ec (2.54)}$$

$$\text{Cantidad de A en AA} = \frac{AA \cdot \%A \text{ en AA}}{100} \text{ec (2.55)}$$

$$\text{Cantidad de A en L} = \frac{L \cdot \%A \text{ en L}}{100} \text{ec (2.56)}$$

- Para determinar el porcentaje de aceite en la emulsión fuerte se hace un balance por componentes:

$$ED \cdot \%A \text{ en ED} = EF \cdot \%A \text{ en EF} + AA \cdot \%A \text{ en AA} + L \cdot \%A \text{ en L} \text{ec (2.57)}$$

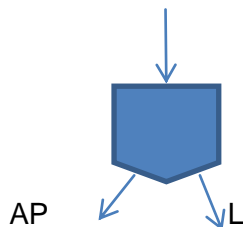
$$\text{Cantidad de A en EF} = \frac{EF \cdot \%A \text{ en EF}}{100} \text{ec (2.58)}$$

- Para la eficiencia en la etapa del desludado:

$$\text{Eficiencia del desludado} = \frac{\text{Cantidad de A en EF}}{\text{Aceite total en ED}} \cdot 100 \text{ec (2.59)}$$

3. Balance en la etapa de pulido

EF



$$EF=AP+L$$

- Aceite pulido

$$EF \cdot \%A \text{ en } EF = AP \cdot \%A \text{ en } AP + L \cdot \%A \text{ en } Lec(2.60)$$

- cantidad de aceite en lodos:

$$Cantidad \text{ de } A \text{ en } L = \frac{L \cdot \%A \text{ en } L}{100} ec(2.61)$$

- Para la eficiencia en la etapa de pulido:

$$Eficiencia \text{ del pulido} = \frac{Cantidad \text{ de } AP}{Cantidad \text{ de } A \text{ en } EF} \cdot 100 ec(2.62)$$

4. En el caso de la eficiencia total del proceso:

$$Eficiencia = \frac{Cant \text{ de } A \text{ en } ED - Cant \text{ de } A \text{ en } AA - Cant \text{ total de } A \text{ en } L}{Cant \text{ de } A \text{ en } ED} \cdot 100 ec(2.63)$$

5. Determinación del volumen de producción:

Este se determina para 20 h de producción al día, 4 horas son de limpieza tecnológica y 40 días de campaña.

2.8.2 Evaluación económica de la propuesta

La inversión inicial se determina a partir del costo de adquisición de los equipos y materiales necesarios para poner en práctica las diferentes opciones.

$$I_{total} = C_{adq. total} ec(2.64)$$

El costo de producción (CP) se determina de acuerdo a los elementos de costos, recogidos en costos fijos (CF) y costos variables (CV).

$$CP=CF + CV \quad ec(2.65)$$

El valor de la producción (VP) se calcula como el precio unitario de cada producto por el volumen de producción de cada producto.

$$VP = pup * Volumen \text{ de producción} \quad ec(2.66)$$

Una vez determinado el costo de producción total y el valor de la producción, se calculan los indicadores económicos que permiten definir la eficiencia económica del proceso. Se recomienda utilizar como indicadores económicos para definir la factibilidad económica

del proceso el Valor Actual Neto (VAN), la Taza interna de rentabilidad (TIR) y el Plazo de Recuperación de la Inversión (PRI).

El movimiento de fondos o flujo de caja, es la diferencia entre los cobros y pagos que se producen como resultado de la inversión. Este movimiento de fondos se hace para cada año del horizonte.

Movimiento de fondos = Cobros - Pagos ec (2.67)

El VAN, se determina como la suma del movimiento de fondo actualizado, para un interés dado (i) en el tiempo que enmarca el horizonte (n) y su valor debe ser positivo y en el orden de la inversión.

$$VAN = S_0 + \frac{S_1}{(1+i)^1} + \frac{S_2}{(1+i)^2} \dots + \frac{S_n}{(1+i)^n} \text{ ec (2.68)}$$

Donde:

VAN: Valor actual neto (\$)

S: Movimiento de fondos (\$)

i : Interés (%)

El TIR, se determina calculando el VAN para diferentes tasas de interés, donde si el TIR $> i$, conviene la realización del proyecto.

$$TIR = i_1 - \frac{VAN(P)(i_1 - i_2)}{VAN(P) - VAN(N)} \text{ ec (2.69)}$$

Donde:

TIR: Tasa interna de retorno (%)

VAN (P): Valor actual neto positivo (\$)

VAN (N): Valor actual neto negativo (\$)

i_2 : Interés para el cual el VAN se hace negativo (\$)

El PRI, es aquel en donde el movimiento de fondo se hace positivo, lo que quiere decir que ya se pagó la inversión realizada.

$$PRI = \frac{I}{G} \text{ ec (2.70)}$$

PRI: plazo de recuperación de la inversión (año)

I: Inversión.

G: Ganancia

Se calcula el retorno de la inversión o rentabilidad porcentual, que se refiere a la relación que existe entre la ganancia y la inversión, este refleja el ritmo con que se recupera la inversión a través de la ganancia.

$$\% \text{ Retorno Inversión} = \frac{G(\text{con Modificación}) - G(\text{sin Modificación})}{I} * 100\% \text{ ec (2.71).}$$

2.9 Beneficios de la propuesta de PML para el medio ambiente

Los beneficios para el medio ambiente que trae consigo la propuesta planteada se basa en:

- La disminución del consumo de agua de la fuente de abasto.
- El equivalente poblacional que puede hacer uso de este recurso empleando como indicador 4.5 m³/personas mes (Resolución 84/2020), esto sitúa el consumo en 150 L/personas diario.

2.10 Conclusiones parciales del capítulo

En este capítulo se plantean las diversas metodologías para:

- Aplicar las opciones de producción más limpia.
- Selección de las bombas para los fluidos del proceso
- La evaluación del intercambiador de calor por el método de la efectividad y el número de unidades de transmisión ($\epsilon - NTU$) y el análisis termohidráulico.
- Para la evaluación económica de las modificaciones propuestas.
- Los beneficios que trae para el medio ambiente.

Capítulo 3: Análisis de resultados

Se plantean 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 las diferentes metodologías descritas en el capítulo anterior para finalmente analizar los resultados obtenidos con dicha propuesta.

3.1 Caracterización de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

La misión fundamental de la empresa es producir alimentos de la más alta calidad en completa armonía con el medio ambiente, con honestidad y respeto a los clientes. Su principal producción son los jugos simples, concentrados congelados y asépticos de naranja, toronja y piña. Además se producen aceites esenciales derivados de la naranja y la toronja, forraje cítrico para alimento animal, pulpas, pastas, néctares y conservas de frutas tropicales (mango, guayaba, y tomate).

3.2 Descripción general del proceso de producción de frutas cítricas

Las frutas se transportan 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, 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 se lavan con agua tratada con hipoclorito de sodio, el contenido de cloro en el agua tiene que ser de 0,5 a 1,0 p.p.m 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. 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 sólidos (hollejos). (Departamento de tecnología, 2015).

3.2.1 Caracterización de los principales equipos que intervienen en el proceso de producción

- Extractores (fig.3.1 y 3.2): Es el equipo destinado a exprimir la fruta y obtener tres corrientes por separado: jugo, emulsión agua-aceite y desechos sólidos. Son máquinas que se basan en el principio único de extracción y para esta operación no es necesario partir la fruta, estas se alimentan a la bandeja en cantidades de tres o cinco frutas según el calibre y se les extrae el zumo. Este equipo tiene varias piezas y accesorios, la mayoría de estas están construidas por aceros inoxidable, el cárter es de aluminio fundido y algunos de sus componentes se construyen en acero. En el mundo existen tres fabricantes principales FMC, FOMESA, CENTENARIO, en la industria existen equipos de los tres.

Figura: 3.1 extractor de jugo.Figura: 3.2 extractor de jugo.



Fuente: (Departamento de tecnología, 2015)

- Filtro de tambor rotatorio : Construido en acero inoxidable AISI 704, y capacidad de 20000 L/h de emulsión con el 15% de sólidos groseros, con alimentación y descarga libre y velocidad de rotación de 10 rpm y un diámetro del orificio de la malla:0,8mm.
- Centrífugas (fig. 3.3 y 3.4):Las centrífugas de discos están construidas con base y cuerpo de hierro fundido, tambor y componentes en el interior de acero inoxidable AISI 316 L, son ideales para una gran variedad de aplicaciones de separación, con concentraciones de sólidos menores y partículas y gotas de menor tamaño. Se emplean en la separación tanto de fases líquidas como de líquidos y sólidos. Las aplicaciones de separación más

difíciles implican a menudo tres fases, con una diferencia de densidad mínima de las fases líquidas separadas y en las que se requiere la separación de partículas muy pequeñas. Los principales suministradores son Westfalia y ALFA LAVAL. El utilizado en la industria es Westfalia.

Figura: 3.3 centrifuga desludadoras



Figura: 3.4 Centrifuga pulidoras



Fuente: (Departamento de tecnología, 2015)

- Tanques de decantación: Están contruidos de acero inoxidable AISI 304 con espesor de la plancha de 3 mm, acabado superficial sanitario y capacidad de 8000 L

Llenadora:

Este equipo es donde se envasa el producto terminado, en bidones de 200 L. Esta garantiza el peso neto de cada envase.

Está formada por un sistema de válvulas automáticas que funcionan según la señal de unos sensores o celdas de carga que se encuentran en la báscula para garantizar que cada bidón tenga el peso requerido. Construida de acero inoxidable AISI 316 resistente a la corrosión.

3.3. Etapa de planificación y organización

3.3.1 Compromiso y Organigrama de la UEB Combinado Industrial “Héroes de Girón”

La UEB tiene definido su compromiso social y su política ambiental (Anexo 1) en el documento que describe el proceso productivo (Departamento de tecnología, 2015).

- **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.

En el compromiso ambiental de la dirección de la UEB participan los Consejos Técnico Asesor, Energético y de Producción.

La estructura organizacional de la UEB se refleja en el Anexo 2.

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

3.4. Etapa Pre evaluativa

En el proceso de aceite los residuales líquidos que se generan los lodos y las aguas amarillas procedentes de las centrífugas que tienen cantidades de aceite esencial y sólidos suspendidos constituyendo estas el principal contaminante.

3.5 Etapa Evaluativa

Se determinó realizarla en el proceso de producción de Aceite Exprimido en Frío por generar el residual más contaminante del procesamiento de cítricos.

3.5.1 Caracterización del área y de la industria

En el presente trabajo se aplica la concepción de producción más limpia en el proceso de aceite exprimido en frío de naranja y toronja de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón, ubicada en el municipio de Jagüey Grande 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. (Ver anexo 3),

Al noroeste se encuentra el Batey "El Vivero" y las plantas de beneficio de fruta fresca Jagüey 1 y Jagüey 2. Al norte se encuentra el Hospital Municipal Iluminado Rodríguez y la ciudad de Jagüey Grande. Al sur se encuentra un punto de ventas RUMBOS y un

Servicentro. En el suroeste de la empresa existen viviendas dispersas. El Combinado Industrial Héroes de Girón en Jagüey Grande en Matanzas fue fundado en abril de 1983, con un costo de 35 millones de pesos.

Desde 1994 la UEB es miembro de la Asociación Internacional de Productores de Jugo (IFU), pertenece desde 1997 a la SGF (Organización Internacional para el Control Voluntario de Autenticidad e Higiene de las Plantas de Producción), certificó su Sistema de Calidad según ISO 9002 en Abril del 2001, posteriormente en Abril del 2004 lo certificó según las ISO 9001:2000, desde el año 2003 sus productos tienen la Certificación KOSHER (Para la venta en la Comunidad Judía).

En la actualidad opta por un Sistema que integra la ISO 9001 y la 18001 de Seguridad y Salud Ocupacional, para ser certificado el próximo año.

3.5.2 Identificación de los diferentes problemas ambientales en la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón

Los principales desechos que se generan en la industria son los hollejos húmedos resultado del procesamiento de las frutas y las corrientes de líquidos residuales que lo constituyen agua de limpieza general y tecnológica, aguas albañales y aguas amarillas que poseen cantidades de aceites esenciales derivados del proceso de centrifugación, cabe señalar que no existen desechos peligrosos porque las sustancias peligrosas en la industria son algunas soluciones de limpieza y el amoníaco como refrigerante.

Los diferentes problemas ambientales del proceso se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.1: Diagnóstico ambiental

Actividad	Aspecto asociado	Impacto ambiental	Carácter del impacto	Valoración del impacto
Procesamiento de frutas cítricas para la producción de jugos naturales, concentrados y subproductos	Consumo de fuel oil	Aumento de gastos para la economía nacional, explotación de recursos naturales	Negativo	Moderado
		Emanaciones de gases a la atmósfera, contaminación del aire	Negativo	Moderado
	Consumo de energía eléctrica	Aumento de gastos para la economía nacional, explotación de recursos naturales	Negativo	Moderado

	Consumo de agua	Explotación de recursos naturales	Negativo	Moderado
	Generación de ingresos	Contribución a la economía nacional	Positivo	Elevado
	Empleo de mano de obra local	Mejora de la situación socioeconómica local	Positivo	Elevado
	Generación de residuales	Contaminación de las aguas y los suelos	Negativo	Elevado

Fuente: Departamento de tecnología de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón (2015).

3.5.3 Descripción del proceso de producción del aceite exprimido en frío

La recuperación del aceite ocurre durante la extracción del jugo, el extractor del mismo emplea el principio de extracción de toda la fruta. Este principio se apoya en el diseño único de componentes de extractores del jugo que son la copa superior y la inferior, el cortador superior y el inferior, el tubo colador y el tubo orificio. Los componentes interactúan durante el ciclo de extracción de forma tal que ocurre la separación instantánea de varias partes de la fruta. El ciclo de extracción comienza con la fruta colocada en la copa inferior. Acto seguido recibe la presión de la copa superior y la inferior sincronisadamente con la acción de los cortadores inferior y superior. En la medida que ambas copas convergen, la fruta sigue recibiendo presión y adopta la forma del perfil dinámico de la copa y queda sujeta a crecientes presiones externas que provocan la ruptura de las glándulas olíferas (que es donde se localiza el aceite cítrico, estas están ubicadas irregularmente a diferentes profundidades en la corteza) y por tanto la liberación del aceite. Durante este proceso se introduce agua por una anilla diseñada especialmente a tales efectos que está ubicada en la copa superior, para capturar el aceite y los pequeños pedazos de corteza en una emulsión de aceite en agua llamada emulsión débil esta cae a un sinfín, que se le llama sinfín de aceite, para ser transportado hasta el tambor rotatorio donde se eliminan las partículas más gruesas y se bombea a los filtros parabólicos que se encuentran en una plataforma en el tercer nivel, estos descargan en unos tanques que alimentan (por gravedad) a la centrifuga deslodadora, de esta se obtienen tres corrientes, agua amarilla, lodos con una pequeña porción de aceite y la emulsión fuerte de concentración aproximadamente entre 35 y

85% de aceite esencial. La emulsión fuerte obtenida alimenta a la centrifuga pulidora, estas obtienen el aceite pulido con una concentración que varía entre 98 y 100% además de otra cantidad de lodos, de este proceso el aceite sale con algunas ceras disueltas, por lo que se almacena en tanques de decantación que se encuentran en cámaras frías para que se formen las ceras y a su vez decanten para que puedan ser extraídas mediante un proceso de purga (ver anexo 4).

Después que el producto está libre de trazas de ceras ya se encuentra en condiciones para su comercialización. (Departamento de tecnología, 2015).

3.6 Etapa de síntesis

Opción # 1:

Reutilización del agua amarilla de la salida de la centrifuga para mezclar con agua de condensado vegetal y alimentar a los extractores en la recuperación del aceite.

3.6.1 Situación actual

En el procesamiento de frutas cítricas existen en funcionamiento 10 extractores que consumen generalmente 900 l/h de agua por cada extractor lo que equivale a un consumo de 9000 L/h de agua que se extrae del manto.

Como resultado de la obtención de jugos concentrados en el evaporador se obtienen aproximadamente 35000 L/h de agua de condensado vegetal la cual se utiliza para la limpieza tecnológica de los equipos y el resto constituye un residual.

Durante el proceso de obtención del aceite exprimido en frío se generan aproximadamente 150 litros de agua amarilla por tonelada de fruta procesada, esta agua recibe su nombre por la coloración que adquiere en el proceso, que resulta una corriente tóxica para los sistemas de tratamientos biológicos. La corriente de agua amarilla contiene el 0.16% de aceite esencial.

3.6.2 Recomendaciones

Utilizar toda el agua amarilla proveniente de la centrifuga deslodadora para formar una mezcla con el agua de condensado vegetal para alimentar los extractores puesto que si se utiliza solamente agua amarilla para este fin existen constantes tupidiones en los aros duchas de los extractores por lo que es preciso mezclarla con un 40% de agua corriente, esta mezcla será enfriada en un intercambiador de calor hasta una temperatura de 59 °F (15°C) según *John Bean Technologies Corporation* (2008) la temperatura del agua de

alimentación a los extractores no debe superar los 75 °F (24°C) ya que el agua tibia puede aumentar la cantidad de vapores que se desprenden durante la elaboración lo que lleva a la pérdida de los componentes aromáticos más delicados del aceite.

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 anexo 5 representa la modificación propuesta al proceso de producción del aceite esencial. En dicha modificación los insumos a emplear son:

- Glicol.
- 2 bombas centrífugas.
- Intercambiador de calor Marca APV de tubo y coraza de dos pasos por el lado de los tubos y uno por la coraza.
- Tuberías de hierro fundido.
- Válvulas.
- Codos.
- Tanque para almacenar la mezcla de agua de condensado vegetal y agua amarilla.
- Filtro.

Diagrama necesario para el cálculo del sistema de flujo de fluidos desde el tanque de agua de condensado vegetal hasta el tanque mezcla.

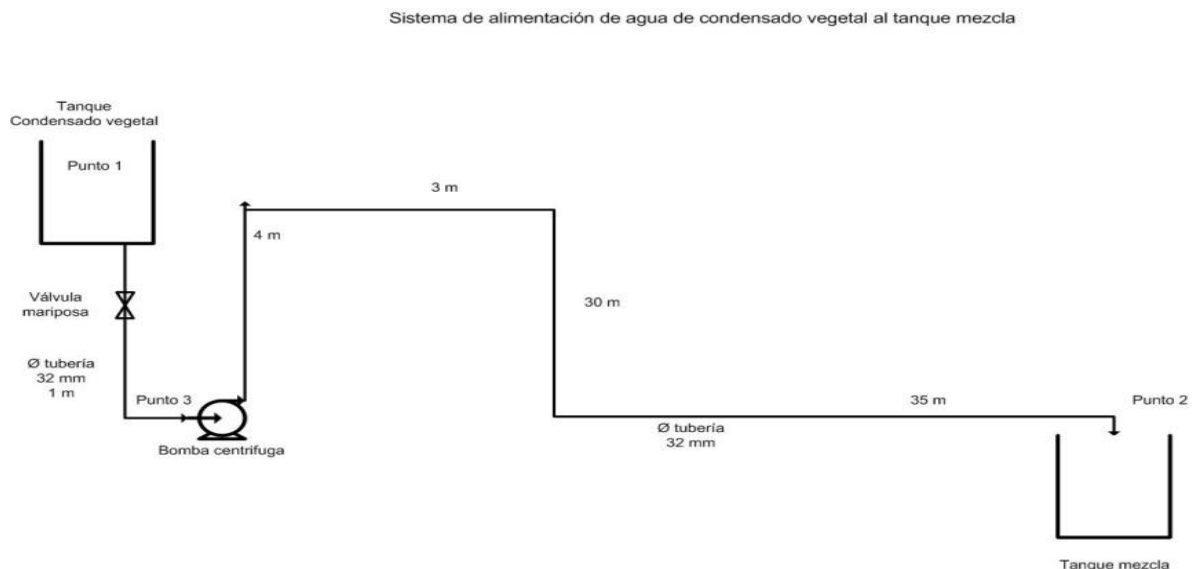
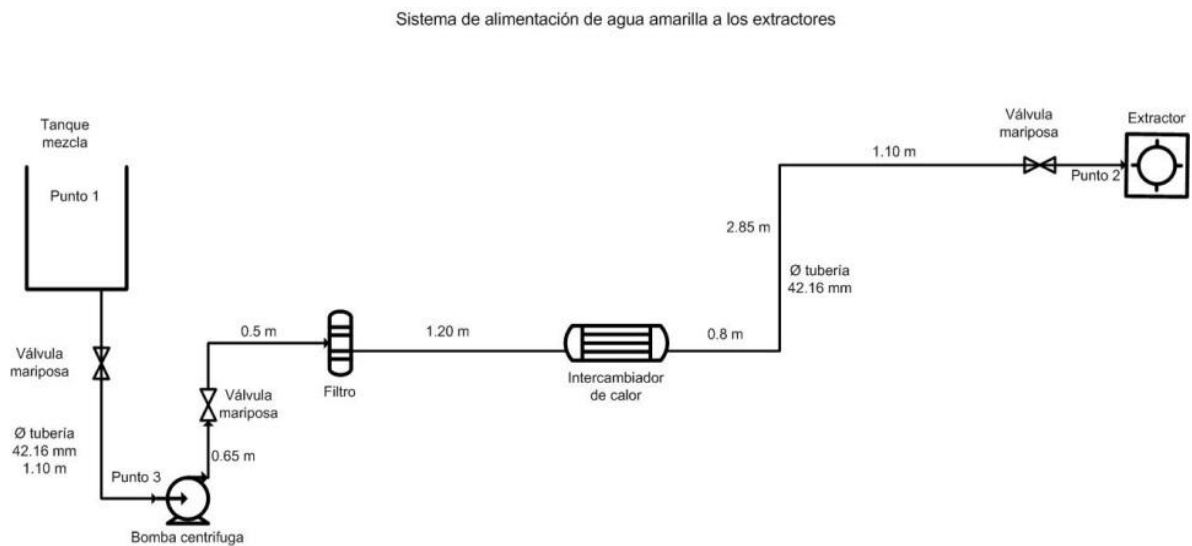


Diagrama necesario para el cálculo del sistema de flujo de fluidos desde el tanque mezcla hasta los extractores.



3.6.3 Cálculos Necesarios para selección de las bombas

Es necesario la compra de una bomba centrífuga, para el traslado del agua de condensado vegetal desde el tanque de condensado hasta el tanque de mezcla. La selección de las bombas se realiza de acuerdo a las metodologías referidas en el capítulo 2.

- a) Selección de la bomba para el traslado del agua de condensado al tanque de mezcla.

El sistema está compuesto por:

- Tanque de agua de condensado existente en la industria.
- 1 Válvula de mariposa de 40 mm.
- 4 codos de 90° estándar.
- 73 m de tuberías de hierro fundido.

Succión de la bomba: De la salida del tanque de agua de condensado hasta la succión de la bomba, consta de una válvula mariposa de 40°, con un diámetro de tubería de 32 mm, el tanque está a la altura de 2 m y la longitud de la tubería es de 1m.

Descarga de la bomba: De la descarga de la bomba hasta el tanque de mezcla, 4 codos de 90° estándar, el diámetro de la tubería es de 32 mm, y la longitud es de 72m.

Los datos necesarios para los cálculos se muestran en la tabla 3.2:

Tabla 3.2: Datos para el balance de fluidos

Parámetros	Valor
ρ del agua de condensado vegetal a 60 °C	983.2 $\frac{kg}{m^3}$
μ del agua de condensado vegetal a 60 °C	$0.466 * 10^{-3} Pa * s$
Z_1	2 m
Z_2	4 m
ΔZ	2 m
$P_1 = P_2$	101325 Pa
Material de las tuberías antes y después de la bomba	Hierro fundido
Diámetro de las tuberías antes y después de la bomba	32 mm
Longitud de las tuberías antes de la bomba	1 m
Longitud de las tuberías después de la bomba	72 m
Accesorios antes de la bomba	1 válvula de mariposa de 40°
Accesorios después de la bomba	4 codos de 90° estándar

Fuente: Elaboración propia.

Lo que ofrece como resultados que el área de las tuberías de succión y de descarga es de 0,0008 m².

Dada el área y el flujo volumétrico se puede determinar la velocidad del fluido en ambas secciones de tubería por el despeje de la ecuación **2.6**.

La velocidad en la tubería es igual a 1.04 m/s.

Con los datos necesarios se determina el régimen del fluido y se calcula el número de Reynolds según la ecuación **2.7**.

$$Re_{succión} = Re_{descarga} = 70517$$

Obtenemos un Re de 70517 en ambas tuberías por lo que se afirma que el régimen del fluido es turbulento, por tanto:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 1$$

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

El valor de la rugosidad relativa es de 0.0081, y el valor del factor de fricción f es de 0.024 para las tuberías de succión y descarga.

Con la sustitución de los valores en la ecuación **2.6** se obtienen los valores de las pérdidas por fricción en tuberías antes y después de la bomba

.Tabla 3.3: Tuberías para la instalación de la bomba de condensado vegetal

	Longitud en m	Diámetro en m
Tubería antes de la bomba.	1	0.032
Tubería después de la bomba.	72	0.032

Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas por fricción en accesorios se determinan a partir de la ecuación **2.7**.

El valor de los coeficientes de resistencias locales (k) en correspondencia con los accesorios en la instalación se encuentra en la tabla 3.1 página 102, (Rosabal, 2006)

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

Tabla 3.4: Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios del sistema

Perdidas por fricción	Antes de la bomba (m)	Después de la bomba (m)
Accesorios	0.68	0.17
Tuberías	0.042	3

Fuente: Elaboración propia.

Las pérdidas por fricción totales se determinan por la ecuación **2.8**:

$$Hf_{totales} = 3.568m$$

Para el cálculo de la carga de la bomba se analiza la ecuación **2.3** del balance mecánico por términos y se despeja la carga de la bomba de donde se obtiene que:

$$Hb = 5.95m.$$

Una vez conocida la carga de la bomba se hace necesario obtener el valor del NPSH del sistema para ello las pérdidas por fricción se calculan por la metodología planteada en el Capítulo 2, solo difieren en que no se calcula ningún valor después de la bomba ya que esta no existe en este nuevo balance.

Las pérdidas por fricción representan un valor igual a 0.658 m

La presión de entrada a la bomba (P_3) se calcula por un despeje de la ecuación **2.1**, donde los datos de flujo volumétrico, diámetro de la tubería y accesorios se mantienen constantes y solo cambia la ubicación de uno de los puntos:

- punto #1: ubicado en el nivel del líquido del tanque de agua de condensado vegetal.
- punto #3: ubicado en la tubería a la entrada de la bomba:

Datos necesarios:

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

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

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

$$P_3 = 113061 \text{ Pa}$$

A su vez el $NPSH_{\text{sistema}}$ se calcula a continuación por la ecuación 2.9

$$NPSH_{\text{sistema}} = 9.74 \text{ m}$$

Los resultados de los criterios de selección se muestran a continuación:

Tabla 3.5: Resultados

Flujo del sistema en kg/h	2974.23
Carga del sistema en m	6
NPSH del sistema	9.74

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados se elige la bomba en los catálogos de la EBARA PUMPS, 2015 como propuesta de los tecnólogos para estandarizar el equipamiento de la industria y según los criterios de selección se decide elegir una electrobomba centrífuga ENR a 1450 rpm (32-160A), diámetro de impelente de 160 mm.

Se refieren los criterios de selección de dicha bomba a continuación.

Tabla 3.6: Criterios de selección de la bomba

Criterios de selección	Sistema	Bomba seleccionada
Flujo en m^3/h	3.024	4
Carga en m	5.95	8.9
Carga neta de succión positiva NPSH en m	9.74	0.49

Fuente: Elaboración propia.

- b) Selección de la bomba para el traslado de la mezcla de agua amarilla y agua de condensado vegetal desde el tanque de mezcla hasta los extractores

El diagrama necesario para el cálculo del sistema de flujo de fluidos desde el tanque mezcla hasta los extractores.

El sistema está compuesto por:

- Tanque de mezcla de agua de condensado vegetal y agua amarilla.
- 1 bomba centrífuga.
- 5 codos de 90° estándar.
- 20.2 m de tuberías de acero al carbono.

- 1 Filtro.
- 1 Intercambiador de calor de tubo y coraza.
- 3 válvulas de mariposa de 40 mm.

Succión de la bomba: Desde la salida del tanque de mezcla de agua de condensado vegetal y agua amarilla hasta la succión de la bomba, consta de 1 válvula de mariposa de 40°, codo de 90° estándar 1, diámetro de tubería de 0.04216 m, el nivel de líquido en el tanque está a 2 m de altura de y la longitud de la tubería es de 1.10m.

Descarga de la bomba: Desde la descarga de la bomba hasta los extractores, consta de: 4 codos de 90° estándar, 2 válvulas de mariposa de 40mm, un filtro y un intercambiador de calor, el diámetro de la tubería es de 0.04216 m, y la longitud es de 19.1m.

Los datos necesarios para los cálculos se encuentran en la tabla 3.7

Tabla 3.7: Datos necesarios para el calculo

Parámetros	Valor
ρ de la mezcla a 40 °C	$992.2 \frac{kg}{m^3}$
μ de la mezcla a 40 °C	$0.653 * 10^{-3} Pa * s$
Z_1	2 m
Z_2	3.5 m
ΔZ	1.5 m
$P_1 = P_2$	101325 Pa
Material de las tuberías antes y después de la bomba	Acero al carbono
Diámetro de las tuberías antes y después de la bomba	42.16 mm
Longitud de las tuberías antes de la bomba	1.10 m
Longitud de las tuberías después de la bomba	19.1 m
Accesorios antes de la bomba	1 válvula de mariposa de 40° 1 codo de 90° estándar
Accesorios después de la bomba	2 válvulas de mariposa de 40° 4 codos de 90° estándar
Caída de presión del filtro	400000 Pa
Caída de presión del intercambiador de calor	170000 Pa

Fuente: Elaboracion propia

Es necesario aclarar que el procedimiento para la selección de esta bomba coincide con el anterior sólo deben agregarse las pérdidas por fricción en el filtro y el intercambiador de calor.

Los resultados de dichos cálculos se muestran a continuación:

Tabla 3.8: Resultados de la selección de la bomba

Parámetros	Resultados
Caudal (m^3/h)	9
Área de las tuberías de succión y descarga (m^2)	0.00139

Velocidad del fluido (m/s)	1.79
Número de Reynolds	64059
Factor de fricción	0.026
Pérdidas por fricción en tuberías antes de la bomba (m)	0.11
Pérdidas por fricción en tuberías después de la bomba (m)	1.92
Pérdidas por fricción en accesorios antes de la bomba (m)	2.13
Pérdidas por fricción en accesorios después de la bomba (m)	4.51
Pérdidas por fricción en el filtro (m)	41.14
Pérdidas por fricción en el Intercambiador de calor (m)	17.48
Pérdidas por fricción totales (m)	67.49
Carga de la bomba (m)	69.15
Presión de entrada de la bomba (Pa)	97401
NPSH del sistema	9.25

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados y como propuesta de los tecnólogos se decide elegir en el catálogo de la EBARA PUMPS, 2015 una electrobomba centrífuga (32-250) a 2900 rpm, diámetro impelente de 245 mm y 27,5 % de eficiencia, un caudal de $10 \text{ m}^3/\text{h}$, una carga de 75 m una potencia de 8 kW y un NPSH de 2. Dicha bomba cumple los tres criterios de selección siguientes:

1. Caudal de la bomba mayor que el caudal del sistema.
2. Carga de la bomba mayor que la carga del sistema.
3. NPSH de la bomba menor que el NPSH del sistema.

3.7 Balance en el tanque mezcla

El balance en el tanque mezcla se realiza según el procedimiento descrito en el capítulo 2 donde los datos necesarios se muestran en la tabla 3.9 y la temperatura de la mezcla se obtiene por la expresión 2.15.

Antes de comenzar a evaluar dicho intercambiador de calor se hace necesario calcular la temperatura con que entra la mezcla de agua amarilla y agua de condensado vegetal.

Tabla 3.9: Datos necesarios para hallar la temperatura de la mezcla

Parámetros	Valor
Flujo de agua amarilla (m^3/h)	6,03
Flujo de agua de condensado vegetal (m^3/h)	2,97
Flujo de la mezcla (m^3/h)	9
Temperatura del agua amarilla ($^{\circ}\text{C}$)	30
Temperatura del agua de condensado vegetal ($^{\circ}\text{C}$)	60

Fuente: elaboración propia

Para ello se conoce que:

$$Q_{mezcla} = Q_{AA} + Q_{AC} \text{ ec(3.1)}$$

Donde:

Q_{mezcla} : Calor de la mezcla.

Q_{AA} : Calor del agua amarilla.

Q_{AC} : Calor del agua de condensado.

$$M_{mezcla} \cdot Cp_{mezcla} \cdot T_{mezcla} = M_{AA} \cdot Cp_{AA} \cdot T_{AA} + (M_{AC} \cdot Cp_{AC} \cdot T_{AC}) \text{ ec(3.2)}$$

Como la Cp del agua en el rango de temperatura de trabajo se encuentra alrededor de 1kcal/kg°C la ecuación quedaría:

$$M_{mezcla} \cdot T_{mezcla} = M_{AA} \cdot T_{AA} + M_{AC} \cdot T_{AC} \text{ ec(3.3)}$$

Al despejar la T_{mezcla} quedaría:

$$T_{mezcla} = \frac{M_{AA} \cdot T_{AA} + (M_{AC} \cdot T_{AC})}{M_{mezcla}} \text{ ec(3.4)}$$

$$T_{mezcla} = 39.9^{\circ}\text{C} \approx 40^{\circ}\text{C}$$

3.8 Evaluación del intercambiador de calor por el método ϵ -NTU

Como parte de la opción propuesta está el uso de un intercambiador de calor para enfriar la mezcla de agua de condensado vegetal y agua amarilla que va a alimentar los extractores hasta los 15°C ya que según *John Bean Technologies Corporation* (2008) la eficiencia en la extracción disminuye con el aumento de la temperatura.

Con el objetivo de disminuir los costos de inversión se propone utilizar para ello un intercambiador de calor de tubo y coraza existente en el almacén cuyas características son las siguientes:

- Intercambiador de calor de tubo y coraza con 2 pasos por los tubos y 1 por la coraza.
- Diámetro de la coraza 500 mm.
- Diámetro interior de los tubos 38 mm.
- Diámetro exterior de los tubos 41 mm
- Espesor de los tubos 2.5 mm
- Longitud de los tubos 6 m.
- Área de transferencia de calor 13.68 m².

3.8.1 Para determinar el flujo de glicol necesario para obtener la temperatura deseada en la salida del intercambiador

También es necesario calcular la masa de glicol necesaria para alcanzar la temperatura deseada para ello se cuenta con los datos siguientes:

- Fluido caliente (mezcla de agua amarilla y agua de condensado).
- Fluido frío (agua – glicol al 30%).
- Temperatura de entrada del fluido caliente (T1): 40°C.
- Temperatura de salida del fluido caliente (T2): 15°C.
- Temperatura de entrada del fluido frío (t1): -2 °C.
- Temperatura de salida del fluido frío (t2): 6 °C.
- Se considera 0% de pérdidas de calor.
- Cp de la mezcla 1kcal/kg °C (Tabla A6: propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- Cp del glicol 0.87 kcal/kg°C (Fig. A14, stoecker, 1987)

$$Q_{abs} = Q_{ced} Ec \quad (3.5)$$

$$m_{glicol} \cdot Cp_{glicol} \cdot \Delta T_{glicol} = m_{mezcla} \cdot Cp_{mezcla} \cdot \Delta T_{mezcla} Ec \quad (3.6)$$

Al despejar:

$$m_{glicol} = \frac{m_{mezcla} \cdot Cp_{mezcla} \cdot \Delta T_{mezcla}}{Cp_{glicol} \cdot \Delta T_{glicol}}$$

$$m_{glicol} = 32327.58 \text{ kg/h}$$

3.8.2 Resultados de la evaluación del intercambiador por el método (ϵ – NTU)

Una vez conocidos estos valores se puede calcular el área del intercambiador de calor que se necesita para obtener la temperatura deseada. A continuación se presenta los resultados obtenidos según la metodología propuesta en el capítulo 2.

Tabla 3.10. Resultados de la evaluación del intercambiador

Parámetros	Valor	Ecuación
Q	225000 kcal/h	2.17
C_h	9000 kcal/h°C.	2.20
C_c	28125 kcal/h°C.	2.19
Cr	0.32	2.21
Q máximo	378000 kcal/h	2.18
ϵ	0.60	2.16

E	1.92	2.23
NTU	1.1	2.24
Área de transferencia de calor	13.35 m ²	2.25

Fuente: Elaboración propia.

3.8.3 Balance hidráulico del intercambiador de calor de carcasa y Tubos

Siguiendo la Metodología descrita en el capítulo 2 para calcular y diseñar intercambiadores de calor de tubo y coraza se sigue el orden de cálculo expuesto.

1. Se determina la diferencia de temperatura media logarítmica, LMTD.

$$\text{LMTD} = 24.63 \text{ °C} = 76.33 \text{ °F}$$

Se determina el factor F de corrección de la LMTD para el arreglo 1-2. Del intercambiador existente

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = 0.23 \text{ec (3.7)}$$

$$R = \frac{T_2 - T_1}{t_1 - T_1} = 0.59 \text{ec (3.8)}$$

$$F_t = 0.99$$

LMTD corregido.

$$\text{LMTD} = 24.63 \text{ °C} * 0.99 = 24.38 \text{ °C}$$

Es mayor a 0.75 por lo que es satisfactorio el arreglo 1-2 del intercambiador existente.

2. Se determinan las temperaturas de diseño para cada fluido. Se determina la viscosidad de los fluidos a T_{ci} y T_{ho} (terminal frío), el rango de enfriamiento o calentamiento de cada uno y la diferencia de temperatura entre los mismos en cada extremo del intercambiador. Si se cumple que:

$$T_{ci} = (T_1 + T_2)/2$$

$$T_{ci} = 27.5 \text{ °C} = 81.5 \text{ °F}$$

$$t_{ho} = (t_1 + t_2)/2$$

$$t_{ho} = 2 \text{ °C} = 35.6 \text{ °F}$$

- Viscosidad a T_{ci} de agua de mecla (tabla propiedades del agua; mezcla: 0.00799 (N·s/m²) Pa·s = 0.799 cP
- Viscosidad a T_{ci} de agua glicol al 30 % (fig: A-13 pag 395 Stoecker, 1987); μ_{glicol} : 4 cP

3.8.3.1 Cálculo del lado de los tubos

Datos para los cálculos del intercambiador:

L: 6 m = 19.68 ft

Di : 38 mm= 0.124 ft

De:42 mm= 0.137 ft

Espesor:2.5 mm:0.082 ft

Numero de tubos Nt: 60

3. Se determina el área de flujo por intercambiador y número de pasos por los tubos.

a_t : Área de flujo por tubo, ft²

n : 2

$$a_t = (\pi D_i^2 / 4) \quad \text{ec(3.9)}$$

$$a_t = \{3.14 * (0.124)^2 / 4\} = 0.012 \text{ ft}^2$$

ρ_t : 996.35 kg/m³ (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf & Eddy, 1998)

$$\rho_t \text{ Lb/ft}^3 : 996.35 \text{ kg/m}^3 \times 0.062427 \text{ lb/ft}^3 = 62.199 \text{ Lbm/ft}^3$$

4. Se determina el número de Reynolds en los tubos.

$\mu = 0.799 \text{ cP}$ (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt)

$$\mu = 0.799 \text{ cP} * 2.42 = 1.933 \text{ Lb/ft h}$$

5. Se determina el valor del coeficiente de transferencia de calor del lado de los tubos, h_i , asumiendo inicialmente que el factor de corrección de viscosidades es igual a la unidad lo que luego será comprobado.

$$A \quad T_{ci} = 27.5^\circ\text{C} = 81.5^\circ\text{F} = 300.65^\circ\text{K}$$

- j_H : factor para transferencia de calor, adimensional: 18 (fig 24 Kern, 1999)
- $c_p = 4.179 \text{ kJ / kg }^\circ\text{K} = 0,998 \text{ Btu / lb }^\circ\text{F}$ (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- $k = 613 \text{ W / m }^\circ\text{K} = 354.19 \text{ Btu / ft h }^\circ\text{F}$ (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- $\mu = 0.000799 \text{ Ns/m}^2 = 0.799 \text{ cP} * 2.42 = 1.933 \text{ Lb/ft h}$ (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)

- $(cp * \mu_p / k)^{1/3} = (0,998 \text{ BTU} / \text{lb}^\circ\text{F} * 1.933 \text{ lb}/\text{ft h} / 354.19 \text{ BTU}/\text{h ft}^\circ\text{F})^{1/3} = 0.01$
- $Di: 0.124 \text{ ft}$

6. Temperatura de la pared

- $\mu_w =$ viscosidad a t_w de agua amarilla y condensado vegetal = $0.001139 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 1.139 \text{ cP} * 2.42 = 2.756 \text{ lb} / \text{h ft}$ (Tabla A6 propiedades termo físicas del agua, Incropera y de Witt, 2011)
- $\mu_w =$ Viscosidad a T_w de agua glicol al 30 % = 2.7 cp (fig: A-13 pag 395 Stoecker, 1987)

$$\phi t = \text{Relacion de viscosidad}, \frac{\mu}{\mu_w}^{0.14} = 0.951$$

a) valor de los coeficientes individuales de transferencia de calor, corregidos

7. Factor de obstrucción

$$R_{d \text{ calculado}} = \frac{U_c - U_d}{U_c * U_d} \text{ec}(2.49)$$

R_d calculado: $0.0016 (\text{hft}^2 \text{ } ^\circ\text{F} / \text{BTU})$

R_d calculado $<$ R_d requerido.

En la que:

- R_d requerido. (anexo #24: Tabla 12 Kern, 1987. Factores de obstrucción que se aplican para intercambiadores de coraza y tubos).

Aguas destiladas $V < 3 \text{ ft}/\text{se}$ y $T < 125 \text{ F}$ ----- 0.0005

Salmueras de enfriamiento ----- 0.001

R_d requerido ----- 0.0015

$0.0016 > 0.0015$

8. Caída de presión lado de los tubos

a) caída de presión en los tubos

ΔP_t : caída de presión en los tubos Lb / ft^2

L : 19.68 ft

D : 0.124 ft

n : 2

$$Gt: 73657.83 \text{ Lb /h ft}^2$$

$$\rho_t: 996.35 \text{ kg/m}^3 \text{ (Tabla propiedades físicas del agua, Metcalf\& Eddy, 1998)}$$

$$\rho_t: \text{Lb/ft}^3 : 996.35 \text{ kg/m}^3 \times 0.062427 \text{ lb/ft}^3 = 62.199 \text{ Lbm/ft}^3$$

$$\phi_t = 0.951$$

$$f = 0.00037 \text{ ft/pulg}^2 \text{ (anexo \#19: fig.26 Kern, 1999)}$$

b) Caída de presión de regreso

$$\Delta Pr: \text{caída de presión de regreso } \text{Lbf/pulg}^2$$

$$n: 2$$

$$Vt: 0.329 \text{ ft /seg}$$

$$\rho: 62.19 \text{ lb/ft}^3$$

$$g': 32.15 \text{ ft/seg}^2$$

c) Caída de presión total.

Tabla 3.12: Resultado del cálculo de la caída de presión por los tubos

Paso	Parámetros	Valor	Ecuación
6a	at	0.0025 ft^2	2.30
6b	Gt	$73734.8 \text{ Lb/h ft}^2$	2.31
6c	vt	0.329 ft /s	2.32
7	Ret	4730.013	2.33
8	hi	$578.15 \text{ Btu / ft}^2 \text{ h } ^\circ\text{F}$	2.34
9	t_w	$59.32 \text{ } ^\circ\text{F} = 15.17 \text{ } ^\circ\text{C}$	2.35
9 a	hio	$497.65 \text{ BTU/ft}^2 \text{ h} ^\circ\text{F}$	2.36
10a	ΔPt	$0.00020 \text{ lb /pulg}^2$	2.37
10b	ΔPr	$0.000113 \text{ Lb / pulg}^2$	2.38
10c	ΔPt	0.000320 PSI	2.39

Fuente: elaboración propia

El coeficiente de transferencia es mayor que el de diseño

b) $h_{io} > U_D$

$$439.81 \text{ BTU/ft}^2\text{hK} > 150 \text{ BTU/h ft}^2\text{K}$$

La caída de presión en el intercambiador por el lado de los tubos es inferior al establecido.

0.000320 PSI < 10 PSI: cumple con los rangos de caída de presión

3.8.3.2 Cálculo del lado de la carcasa:

9a) Se evalúa el área de flujo a través del banco de tubos para un intercambiador de un solo paso en la carcasa bien sea uno o varios asociados en serie.

Donde

$$DI: 500 \text{ mm} = 19.68 \text{ pulg.} = 1.64 \text{ ft}$$

$$C': 1.005 \text{ pulg}$$

$$B: 6.29 \text{ pulg}$$

$$Pt: 1.109 \text{ pulg}$$

b) Se evalúa la velocidad másica del fluido.

$$W: 32327.586 \text{ kg/h} = 8.97 \text{ kg/seg} * 737.35 \text{ lb/h ft}^2 = 6614.02 \text{ lb/h ft}^2$$

c) Se calcula la velocidad lineal

Donde

- $\rho_s: 1004 \text{ kg/m}^3$ (Fig A11 Stoecker, 1987)

$$\rho_s: 1004 \text{ kg/m}^3 * 0.062427 = 62.67 \text{ lbm/ft}^3$$

10. Se determinan el calor específico, la viscosidad y la conductividad térmica para el fluido que circula en la carcasa a la temperatura calórica o media (según sea el caso), y se determina el número de Reynolds para la carcasa.

$$\mu = 4 \text{ cp (fig: A-13 pag 395 Stoecker, 1987)}$$

$$\mu = 4 \text{ cp} * 2.42 = 9.68 \text{ lb/hft}$$

11. Se calcula la caída de presión en la carcasa.

Número de cruces,

$$N + 1 = 12 L/B = 12 * 20.08/6.29 = 38.30$$

$$L: 6.123 \text{ m} = 20.08 \text{ ft}$$

$$B = 6.29 \text{ pulg} = 0.524 \text{ ft}$$

f : 0.0012ft/pulg² (fig.29 Kern, 1999)

D_s : 19.68 pulg

D_e : 0.411 pulg

G_s : 1222588.371 lb/hft²

ρ : 62.67 lbm /ft³ (figura A11 stoecker, 1987)

$\mu_w = 2.7 \text{ cp} * 2.42 = 6.534 \text{ lb/hft}$ (figura A13 stoecke, 1987)

$\phi_s = 1.001$

12. Se determina el valor del coeficiente de transferencia de calor del lado de la carcasa, ho..

j_H : 320 (fig 28 Kern, 1999)

k : 0.44 BTU/h ft²°F (fig. A12 Stoecker, 1987)

$C_p = 0.87 \text{ BTU/ kg}^\circ\text{F}$ (anexo #14 fig. A14 Stoecker, 1987)

μ : 2.7 cp (anexo # 20 :Fig A11 Stoecker, 1987)

μ : 2.7 cp* 2,42 = $Lb/(pie)(h)$

$\phi_s = 1.001$

D_e : 0.411pulg = 0.0342 ft

13. Se determina el valor del coeficiente global de transferencia de calor U_c empleando los factores de obstrucción para cada corriente.

14. Mediante la ecuación de diseño se evalúa el área requerida por el problema y se compara con el área disponible calculada en base al número de tubos, longitud y diámetros elegidos.

$Q = 378000 \text{ kcal/h} = 1500025 \text{ BTU/h}$

$LMTD = 24.38 \text{ }^\circ\text{C} = 75.88 \text{ }^\circ\text{F}$

Tabla 3.13: Resultado del cálculo de la caída de presión por la carcasa

Paso	Parámetros	Valor	Ecuación
9a	a_s	0.779 pulg ² = 0.00540 ft ²	2.40
9 b	G_s	1222588.371 lb/hft ²	2.41

9c	V_s	5.418 ft/seg	2.42
10	Res	51909.4856	2.43
11	De	0.411 pulg = 0.0324 ft	2.44
12	ΔP	2.14 PSI	2.45
13	ho	430.023 BTU/hft ²⁰ F	2.46
14	Uc	230.68 BTU/ft ² h°F	2.47
15	A1	13.48 m ²	2.48

Fuente: elaboración propia

15. Cumplidos todos estos requisitos el intercambiador diseñado es el apropiado para el servicio deseado.

La caída de presión es inferior a 10 Psi permitida por lo que es factible el intercambiador para el servicio.

El área disponible es superior a la requerida

El coeficiente de transferencia calculado sea mayor que el coeficiente de diseño $U_c > U_d$

R_d calculado $> R_d$ requerido

3.9 Evaluación económica de la opción de producción más limpia propuesta

3.9.1 Balance de masa para obtener el volumen de producción de aceite después de la modificación propuesta

Datos

Flujo de agua amarilla que entra al extractor en la mezcla: $6025.77 \frac{L}{h}$

Flujo de la mezcla: $9000 \frac{L}{h}$

Flujo de la emulsión débil: $9000 \frac{L}{h}$

% de aceite en la emulsión débil antes de la modificación: 0.79

Densidad del aceite exprimido en frío: $860 \frac{kg}{m^3}$

Contenido de aceite en la fruta: $2.5 \frac{L}{t}$

Régimen de molienda: $60 \frac{t}{h}$

Duración de la campaña: 40 días.

Horas trabajadas diarias: 20 h

% de aceite en el agua amarilla: 0.16

Flujo de la emulsión fuerte: $72 \frac{L}{h}$

% de aceite en los lodos de la centrífuga deslodadora: 0.58

Flujo de lodos en la centrífuga pulidora: $52 \frac{L}{h}$

% de aceite en los lodos de la centrífuga pulidora: 12

El primer paso es conocer el % de aceite que se incorpora a la emulsión débil a partir de la mezcla que se agrega a los extractores para ello se realiza un balance de masa en el tanque mezcla:

Tabla 3.14: Resultados del balance de masa

Parámetros	Valor	Ecuación
%A en M	0.107	2.50
%A en ED	0.897	2.51
A total en ED	$80.74 \frac{L}{h}$	2.52
eficiencia del extractor	53.83%	2.53
AA	$8\ 910 \frac{L}{h}$	2.54
Cantidad de A en AA	$14.26 \frac{L}{h}$	2.55
Cantidad de A en L	$0.10 \frac{L}{h}$	2.56
% A en EF	92.2 %	2.57
Cantidad de A en EF	$66.38 \frac{L}{h}$	2.58
Eficiencia del deslodado	82.21%	2.59
AP	$60 \frac{L}{h}$	2.60
Cantidad de A en L =	$6.24 \frac{L}{h}$	2.61
Eficiencia del deslodado	90.60%	2.62

Eficiencia total del proceso	74.49%	2.63
------------------------------	--------	------

Fuente: elaboración propia

- Determinación del volumen de producción:

$$VP = 60 \frac{L}{h} \cdot 20 \frac{h}{d} \cdot 40 \frac{d}{\text{campaña}} = 41.28 \frac{t}{\text{campaña}}$$

En resumen con la implementación de la propuesta se logra aumentar: el volumen de producción en 16 t/campaña, la ganancia en 15894 CUC, la eficiencia del extractor en un 6,43%, la eficiencia de la centrífuga desludadora en un 21,86%, la eficiencia de la centrífuga pulidora en un 5,15% y la eficiencia total de la planta en un 3,46%.

3.9.2 Evaluación económica de la propuesta

Para desarrollar la evaluación económica de la propuesta de PML se realiza el análisis de la factibilidad de la misma por medio de la determinación del Valor Actual Neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR), el plazo de recuperación de la inversión y el % de retorno, para lo cual se aplica la metodología de cálculos económicos como se muestra en el capítulo 2.

La inversión se determinó a partir del costo de adquisición del equipamiento necesario 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.

El monto total de la inversión se describe en el anexo 6.

Por otro lado el cálculo de los costos fijos, los costos variables y el costo de producción total durante la campaña de noviembre a diciembre del 2017 fueron brindados por el departamento de economía de la empresa (ver Anexo 7). Una vez conocido el nuevo volumen de producción, los resultados de la industria antes y después de la modificación se realiza el cálculo del VAN cuyo resultado se muestra en el anexo 8.

El VAN ofrece un valor de 161 627 CUC o sea positivo y en el orden de la inversión lo que indica que el proyecto generara más efectivo que el que se necesita para reembolsar su deuda y cubrir el interés correspondiente, por lo que se puede aceptar el proyecto de inversión.

Por otra parte el % de Retorno de la Inversión es de 65%, lo que significa que el 65% de la inversión retorna cada año a través de la ganancia.

El Plazo de recuperación de la inversión es de 0,81años lo que representa un valor sumamente pequeño y por tanto favorable.

En cuanto al TIR en este caso no se calcula puesto que como existe una gran diferencia entre el valor de la inversión y la ganancia obtenida resulta imposible obtener un VAN negativo subiendo el interés hasta el 100% y así determinar el valor del TIR, lo que significa que el proyecto es rentable por mucho que pueda subir el interés.

3.10 Beneficios de la propuesta de PML para el medio ambiente

El beneficio que trae consigo esta propuesta para el medio ambiente viene dado por el hecho de que se dejan de consumir del manto $9 \text{ m}^3/\text{h}$ lo que para una campaña de 40 días y 20 horas de trabajo diarias equivale a 7200 m^3 de agua por campaña.

Lo suficiente para abastecer a una población de 48000 habitantes con un consumo de 150 L/diario per cápita lo que contribuye a preservar este valioso recurso.

3.11 Conclusiones parciales del capítulo

- Las bombas seleccionadas cumplen los tres criterios de selección siguientes: caudal de la bomba mayor que el caudal del sistema, carga de la bomba mayor que la carga del sistema, NPSH de la bomba menor que el NPSH del sistema.
- El intercambiador de calor cumple con las condiciones de área de transferencia, caídas de presión de los fluidos, por lo tiene las condiciones necesarias para obtener la temperatura deseada.
- Mejora la obtención de producto y la eficiencia del proceso de obtención de aceite exprimido en frío.

Conclusiones

1. La modificación del proceso de obtención del aceite exprimido en frío de naranja como propuesta de PML en la UEB permite dar solución al problema científico y dar cumplimiento a los objetivos propuestos en la investigación.
2. Con la propuesta de PML se aumenta la eficiencia total del proceso de producción de aceite exprimido en frío de naranja en un 4%, lo que equivale a elevar el volumen de producción en 16 t/campaña y la ganancia en 15894 CUC.
3. La propuesta realizada es económicamente factible con un plazo de recuperación de 0,81 años.

Recomendaciones

- 1) Implementar prácticas de PML en otros procesos de la industria como la obtención de jugos concentrados y asépticos, las pastas y conservas y la propia etapa de refrigeración en el proceso de producción de aceite exprimido en frío lo que posibilitaría la reducción de la carga contaminante de la entidad y el aumento de los beneficios económicos.

Referencias bibliográficas

1. Abreu. S, Guzmán. J, Prévez. L, Mesa. J, Oliva. M, Olivera. L: A, Menéndez Fernández. C, Fernández C, Moya. R, Bello. M. (2011). Sostenibilidad del proceso de obtención de aceite esencial cítrico aplicación de la producción más limpia (PML). Ingeniería química, ISSN 0210-2064, nº. 499, págs. 52-57.
2. Arango-Garcés, A. A., Ballesteros Solano S. M., Casas Gómez G. P., (2012). Diagnóstico y formulación del programa de PML en la Industria de Galvanotecnia en el proceso de cromado., Trabajo de grado para optar al título de Especialista en Ingeniería Ambiental, Universidad de la Sabana, Facultad de Postgrados, Especialización en Ingeniería Ambiental, Bogotá D. C.
3. 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.
4. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. (2008). Biological Effects of essential oils-A review. *Food and Chemical Toxicology*. 46: 446-475.
5. Bauer, K., Garve, D., Surburg, H. (2001). Common fragrance and flavour materials: Preparation, Properties, and Uses. Willey-VCH, Weinheim. p. 293.
6. Bautista, Priscila. (2015). *Manejo de residuos y desechos de la industria de jugos*. [en línea] [Consulta: 11 de febrero del 2018].
7. Bermúdez Hernández. Y..Producción más Limpia en el Sector Biotecnológico.*Journal of Technology Management & Innovation*, ISSN-e 0718-2724, Nº. Extra 8, 2, 2013 (Ejemplar dedicado a: Special Issue ALTEC: Social and Sustainable Project, Knowledge and Innovation Management), págs. 298-309.
8. Bousbia, N., M. Vian, M. Ferhat, B. Meklati y F. Chemat. (2009). A new process for extraction of essential oil from Citrus peels: Micro wave hydrodiffusion and gravity. *J. Food. Eng.* 90: 409-413.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
 12. 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.
 13. CITMA. Estrategia Ambiental Nacional 2005-2010. Editorial Academia. La Habana.
 14. Colectivo de Autores (2005). Producción más limpia. Un paquete de recursos de capacitación.” Primera edición en español - febrero de 1999.
 15. Cruz Cabrera, C. (2005). Producción mas limpia en el proceso de obtención de acido sulfúrico. 179 p. Tesis (en opción al título Doctoral). Universidad de Matanzas - Girona, Cuba.
 16. Dare Flash, John (1996). Cleaner technology: An essential guide for industry. Good Practice Guide produced by Envirowise & WS Atkins Environment.
 17. Departamento de economía. (Revisión 2017). Balance económico de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
 18. Departamento de recursos humanos. (Revisión 2018). UEB Combinado Industrial Héroes de Girón. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
 19. Departamento de tecnología. (Revisión 2015). Descripción del proceso productivo de la UEB Combinado Industrial Héroes de Girón. Empresa Agroindustrial Victoria de Girón. Documento de trabajo.
 20. 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.
 21. Díaz, Y. (2014). Evaluación de la eficiencia de la limpieza mecánica del intercambiador de calor en espiral de la segunda etapa de separación en la batería central de la EPEP-C. Matanzas. Tesis en opción al Título Académico de Especialista en Perforación de pozos y producción de petróleo. Universidad de Matanzas.
 22. 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.

23. EBARA PUMPS IBERIA S.A. (2015). Catalogo de selección de bombas centrifugas.C/ Cormoranes, 6-8.Polígono Industrial La Estación 28320 Pinto (Madrid)
24. 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.
25. Fernández Rubio, A. (1999). Ley 81 del Medio Ambiente. ISBN 959-7143-08-9. La Habana, Cuba. Ministerio de Justicia. 300 p.
26. Fernández, J., Linhares, E., Sousa, A., & Rodríguez, M. (2015). Um estudo da Produção Mas limpana Gestão Ambiental. *Revista Augustus*, 52-64.
27. Fisher, K. y Phillips, C. (2008). Potential antimicrobial uses of essential oils in food: is citrus the answer? *Trends in Food Sci. Tech.* 19:156-164.
28. Freeman, A., Herrigues, J., &Kling, C. (2014). *The Measurement of Environmental and resource value*. Nueva York: Taylor & Francis.
29. Günther, E. (1973). *The Essential Oils*. Vol. 1: History and origin in Plants Production Analysis. Krieger Publishing: New York, USA.
30. Guzmán Hidalgo, J. (2009) Aplicación de la Producción Más Limpia en la Sostenibilidad del proceso de obtención de Aceite Esencial Cítrico.Tesis presentada en opción al título de máster en ingeniería ambiental.Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echevarría". Ciudad de la Habana. Cuba.
31. Hamblin, D. (2016). Factors impacting on cleaner production: Case studies of Chinese pharmaceutical manufacturers in Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*, 131, 121- 132.
32. Henriques, 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.
33. Hernández, A. L. y Lesino, G. (2010). Diseño, Construcción y evaluación Termoenergética de un Intercambiador de calor Aire – Aire de Flujo Cruzado. Argentina. Disponible en:<https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Hernandez11/publication/259528121>. Consultado 23 el de enero 2019.
34. Incropera, F. P. y DeWitt, D. P. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. Editorial Prentice Hall, 7th Ed. USA.
35. Izquierdo Millán, Marcelo (2001). *Ingeniería térmica y de fluidos*. Intercambiadores de calor. Editorial Leganés.
36. John Bean Technologies Corporation (2008). *Sistemas de recuperación de aceites esenciales*. Florida .USA

37. Kern, Donald Q. (1999). *Procesos de Transferencia de Calor*. México. Editorial Continental S.A.
38. Kimball D. *Citrus* (1991). *Processing Quality Control and Technology*. 3a Ed.
39. Kjaerheim, G. (2005). Cleaner production and sustainability. *Journal of cleaner production*, 13, 329- 339.
40. Li y Hamblin, D. (2016). Factors impacting on cleaner production: Case studies of Chinese pharmaceutical manufacturers in Tianjin, China. *Journal of Cleaner Production*, 131, 121- 132.
41. Lin, R., Kim, H., & Yong, G. (2013). Market demand, green product innovation, and firm performance: evidence. *Journal of Cleaner Production* 40, 101-107.
42. Luken, Berkel, V., Leuenberger, & Schwager. (2015). A 20-year retrospective of the National Cleaner Production Centres programme. *Journal of cleaner production*, 112.
43. *Manual de Producción Más Limpia en el Sector Industrial Citrícola*. (2009). [en línea] [Consulta: 11 de febrero del 2019].
44. McCabe, W. L.; Smith, J. C. y Harriott, P. (1998). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. Editorial McGraw Hill. Madrid, España.
45. Metcalf, R. & Eddy. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 7. 3ª Ed. España: McGraw Hill, 1998.
46. 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.
47. Nadour, E. C. (2012). *Agencia de Protección Ambiental Ministerio de Ambiente y Espacio Público. Guía práctica y estudio de casos, Producción más limpia, Programa Buenos Aires produce más limpio*.
48. Nakatsu, T., Lupo, A., Chinn, J., Kang, R. (2000). Biological activity of essential oils and their constituents. *Elsevier Science B.V. USA*. 21: 571-623.
49. Nannapaneni, R., V. Chalova, P. Crandall, S. Ricke, M. Johnson y C.O' Bryan. (2009). *Campylobacter and Arcobacter species sensitivity to comercial orange oil fraction*. *Int. J. Food Microbiol.* 129: 43-49.
50. ONUDI. (2007). *Manual de producción más limpia para el sector industrial citrícola*. Cuba. p 100-102.
51. Oreja, J., & Armas, Y. (2012). Environmental performance in the hotel sector: the case of the Western Canary. *Journal of cleaner production*, 29(30), 64-72.

52. Paredes, P. (2014). Producción más limpia y el manejo de efluentes en plantas de harina y aceite de pescado. *Industrial Data*, 72-80
53. PNUMA / IMA (2003). Un paquete de recursos de capacitación: Producción más limpia. Documentos técnicos de apoyo. Parte 3. 28 p
54. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); (2006)
55. Resolución no 84/2020. Ministerio de finanzas y precios. Tarifas del agua 2020.
56. Rigola Lapena, M. (1998). Producción + Limpia. ISBN 84-497-0072-8. Cuadernos de Medio Ambiente. Barcelona. España. Editorial Rubes. 142 p.
57. Rizo, L. B. (2008). Evaluación energética en la planta de procesamiento de crudo de la EPEP Centro. Tesis presentada en opción al título de especialista en perforación y extracción en pozos de petróleo y gas. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos". Matanzas, Cuba.
58. Rosabal, J.M. (2006). Hidrodinámica y separaciones mecánicas. Ciudad de la Habana. Editorial Félix Varela. 2da edición.
59. Serrano Méndez, J. (2006). Protección Ambiental y Producción Más Limpia. Curso de Universidad para todos. Editorial Academia.
60. Severo, E., Ferro, J., Henri, E., & Hermann, C. (2015). Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: an empirical study in the Brazilian Metal-Mechanic industry. *Journal of Cleaner Production*, 118-125.
61. Shen, H., & Hsieh, T. (2011). An environmental performance assessment of the hotel industry using an ecological foot print. *Journal of Hospitality Management and Tourism* , 1-11. Eficiencia en el uso de los recursos y producción más limpia (RECP) para la competitividad del sector hotelero
62. Shilling, R. (2000). A new perspective on the impact of fouling on the performance of finned heat exchangers in comparison to heat exchangers without extended surfaces. Editorial Brown Fintube Company. Houston, Texas, USA.
63. Snyder, P. (2004). Manual de operación del evaporador de concentrado cítrico TASTE 60k 7-9.
64. Stoecker, W.F. (1987). Refrigeración y acondicionamiento de aire. La Habana, Cuba. Edición Revolucionaria.
65. Towler, G. y Sinnott, R. (2008). *Chemical Engineering Desing. Principles, Practice and Economics of Plant and Process Desing*. Editorial Butterworth-Heinemann. Estados Unidos.

66. United Nations Industrial Development Organization [UNIDO]; United Nations Environment Programme [UNEP]. (2010). Joint UNIDO-UNEP Programme on Resource Efficient and Cleaner Production in Developing and Transition Countries.
67. Van Berkel, R. (2015) .Resource efficient and cleaner production (RECP) for better enterprises, cleaner environment and green Economy. Moldova.
68. Varón Jiménez. L.M. (2013) La producción más limpia como estrategia de gestión ambiental. Producción + Limpia, ISSN-e 1909-0455, Vol. 8, Nº. 1, 2013 (Ejemplar dedicado a: Producción + Limpia), págs. 1-2
69. 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.
70. 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.

Anexos

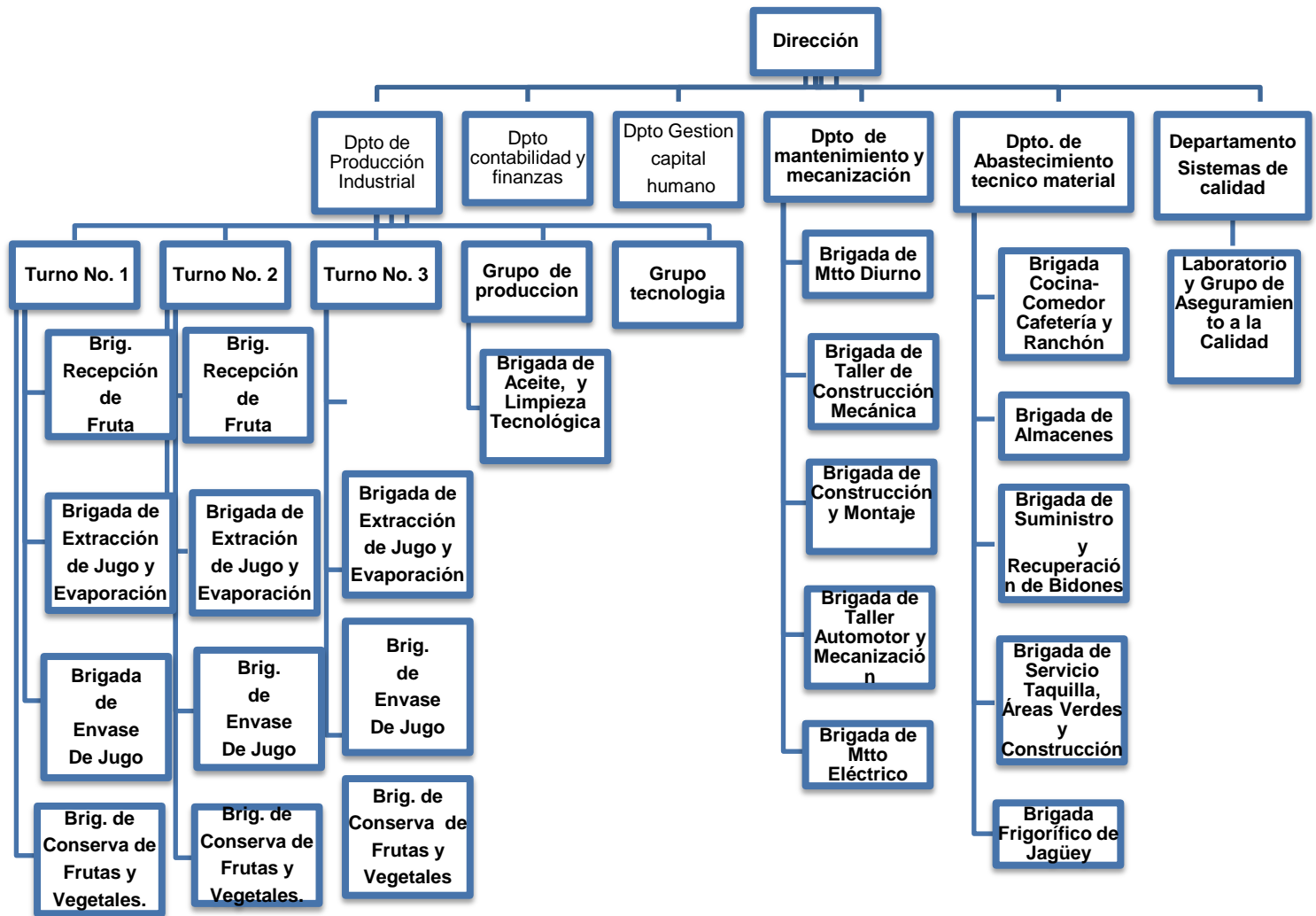
Anexo # 1: Compromiso social y política ambiental de la UEB combinado industrial "Héroes de Girón"

Compromiso Social de la UEB

- ✓ Procesar industrialmente frutas y vegetales para comercializar de forma mayorista, jugos concentrados y naturales, jugos simples, aceites y derivados para los destinos contratados en moneda nacional y en divisas a través de la comercializadora de la empresa.
- ✓ 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.
- ✓ Prestar servicios en moneda nacional de comedor, cafetería, recreación, reparaciones menores de equipos, a trabajadores de la entidad.
- ✓ 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 medioambiental.

Anexo # 2: Estructura organizativa de la UEB combinado industrial “Héroes de Girón”

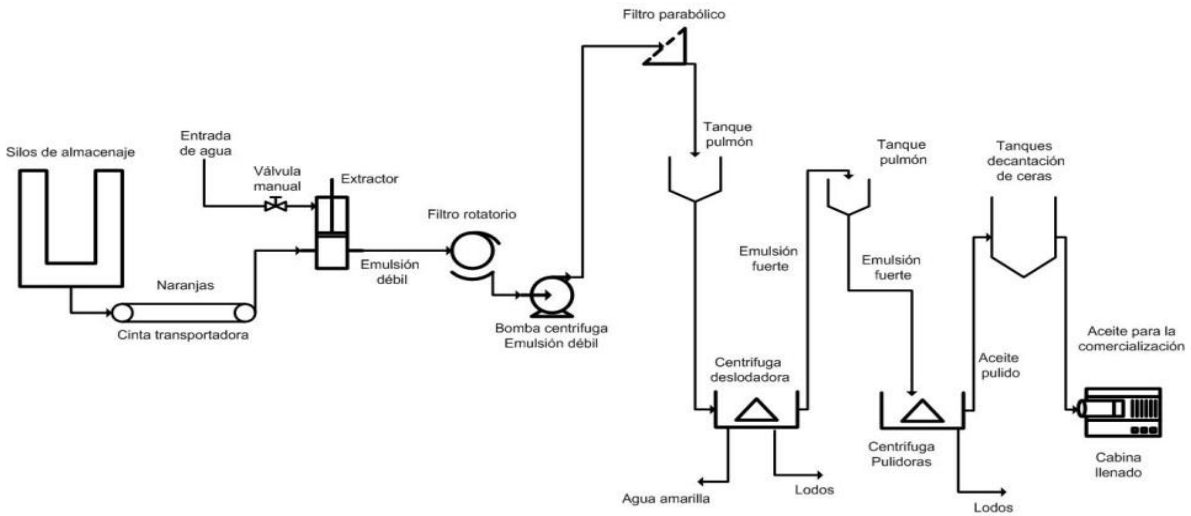


Anexo # 3: Ubicación geográfica de la UEB combinado industrial “Héroes de Girón”



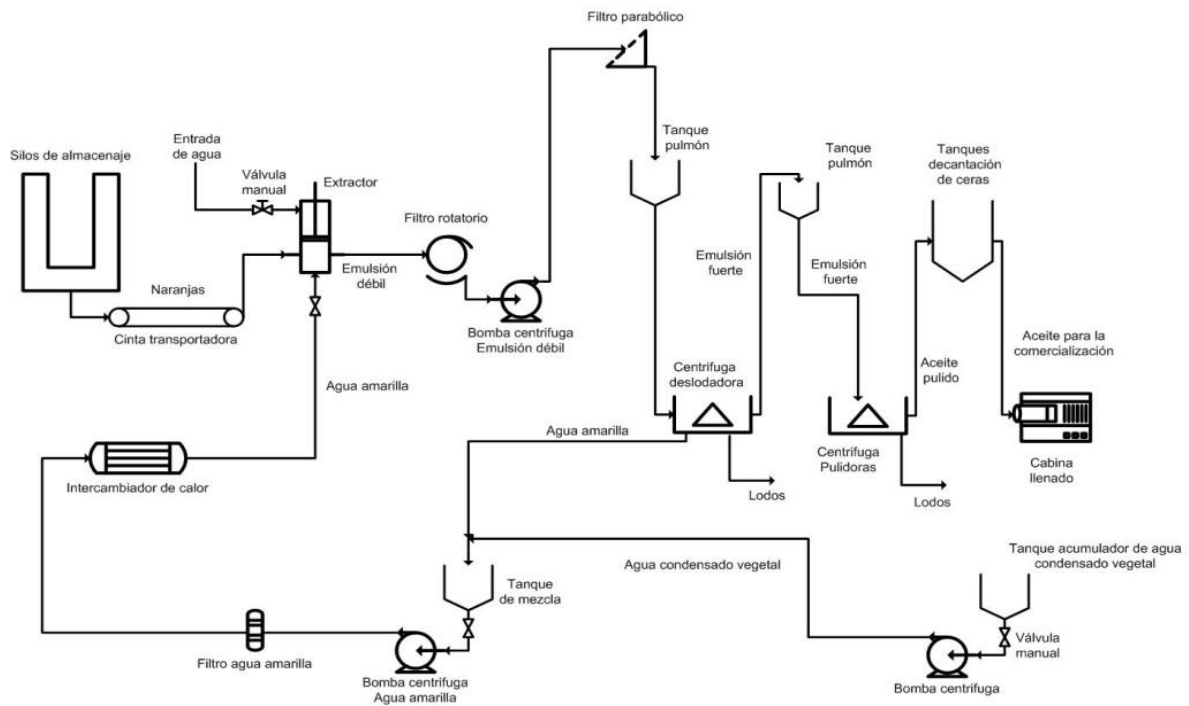
Anexo # 4: Esquema actual del proceso de aceite exprimido en frío

Diagrama de flujo del proceso



Anexo # 5: Esquema de la propuesta realizada al proceso de aceite exprimido en frío.

Diagrama de flujo del proceso



Anexo #6: Gastos de la inversión

Inversión total				
Elementos	Unidad de medida	Cantidad	Precio en CUC	Precio total
Válvula mariposa de 40mm	u	4	85	340
Codo de 90° estándar	u	9	3,5	31,5
Bomba centrífuga	u	1	3500	3500
Filtro	u	1	15000	15000
Tuberías de hierro fundido 1 ¼ pulgada	m	73	8,75	638,75
Tuberías de acero al carbono 1 ½ pulgada	m	20,2	13,77	278,154
Bomba centrífuga	u	1	4650	4650
Costo total de adquisición o Inversión en CUC				24438

Fuente: elaboración propia

Anexo #7: Costos de producción

Indicadores \$/campana	
materia prima	1500
Insumos principales	503,3
materiales auxiliares	241
combustibles	227
transportación	240
Energía	356,08
Salario	4000
seguridad social	354
Total de costos variables	7421,38
mantenimiento	1265
Amortización	2432,4
gastos de servicios	48,34
Total de costos fijos	3745,74
Costo de producción total	11167,12
Volumen de producción t/campana	25,45

Fuente: Departamento de economía, 2017

Anexo #8: Resultados del cálculo del VAN

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	24 438	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pagos totales	24 438	11 167	11 167	11 167	11 167	11 167	11 167	11 167	11 167	11 167	11167
Cobros totales	0	41448	41 448	41 448	41 448	41 448	41 448	41 448	41 448	41 448	41 448
Mov. De fondos	-24 438	30281	30 281	30 281	30 281	30 281	30 281	30 281	30 281	30 281	30281
Mov. De fondos acumulado	-24 438	5 842	36124	66405	96686	126968	157249	187530	217812	248093	278 374
Mov de fondos actualizado	-24 438	27528	25025	22750	20 682	18 802	17093	15539	14126	\$12.842	11674

Fuente: elaboración propia