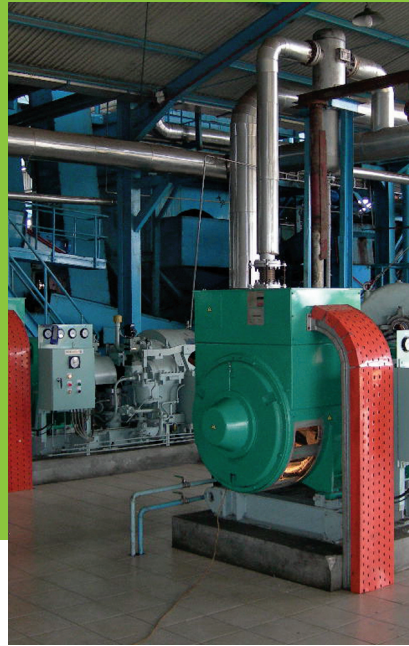


Procesos modernos de extracción de aceite de palma





Procesos modernos de extracción de aceite de palma

Germán Cala Gaitán
Guillermo Bernal Castillo

PROCESOS MODERNOS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE DE PALMA

© Publicación de la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite (Fedepalma), la Sociedad de Agricultores de Colombia (SAC) y el Servicio Nacional de Aprendizaje (Sena)

Cofinanciada por Fedepalma, Sena, SAC y Fondo de Fomento Palmero

Textos

Germán Cala Gaitán

Guillermo Bernal Castillo

Colaboradores

Guido Sierra Ramírez

Roberto Marroquín Grillo

Coordinación editorial

Patricia Bozzi Ángel

Corrección de estilo

Patricia Bozzi Ángel

Diseño y diagramación

Machado y Molina Asociados

Fotografía

Guido Sierra Ramírez

Roberto Marroquín Grillo

Germán Cala Gaitán

Archivos Fedepalma

Impresión

Impresores Molher Ltda.

Fedepalma, Carrera 10A No. 69A-44

Teléfono: 313-8600 Fax: 211-3508

e-mail: ci@fedepalma.org

www.fedepalma.org

Bogotá D.C. - Colombia

Agosto de 2008

ISBN: 978-958-98341-2-1



Introducción

Con el objetivo de apoyar al desarrollo del gremio palmero colombiano en el cumplimiento de sus objetivos estratégicos, en el año 2005 Fedepalma, mediante su programa de Capacitación y Desarrollo Empresarial, establece como prioritaria la necesidad de realizar un programa de actualización dirigido al personal técnico de las plantas extractoras, en donde se revisarán los principios básicos de operación, los conceptos y metodologías de diseño de cada una de las principales etapas del proceso.

Por tal motivo se realizó la traducción y actualización del libro “Sinópsis del proceso de extracción de aceite de palma” escrito por el experto diseñador y constructor de equipos y plantas extractoras Noel Wambeck. Una vez traducido y contextualizado el libro se realizaron cuatro seminarios taller en cada una de las zonas palmeras colombianas para explicar directamente los conceptos del libro al personal técnico de las plantas extractoras, los cuales contaron con la participación de alrededor de 100 técnicos de las plantas extractoras nacionales.

Sin embargo, en la última década el proceso de extracción de aceite de palma ha sufrido cambios radicales que han permitido desarrollar e implementar nuevas tecnologías para modernizar las operaciones en su interior, además de adaptar el proceso a los nuevos requerimientos de carácter técnico, energético y ambiental que se han establecido en el panorama mundial.

Es por ello que este documento surge como una alternativa para la contextualización y breve descripción, dirigido a los gerentes y técnicos de las plantas extractoras en lo referente al estado de desarrollo e implementación en el ámbito industrial de diferentes tecnologías tales como la esterilización continua y vertical, la preclarificación, la clarificación dinámica, la automatización y el uso de los subproductos constituidos principalmente por biomasa.

Es así como en el capítulo 1 se presentan las razones para adoptar los procesos modernos en las plantas extractoras y las exigencias mundiales en relación con el uso de la energía y su desempeño ambiental.

En el capítulo 2 se enuncian las características que debe tener un proyecto moderno para una planta extractora en el momento de su concepción y planeamiento.

En el capítulo 3 se describen las diferentes etapas del proceso, junto con las innovaciones que han sufrido en los últimos años y las propuestas que en la actualidad se encuentran en curso.

En el capítulo 4 se hace una revisión de los servicios industriales de soporte al proceso de extracción, dentro de los que se destacan el tratamiento de agua para calderas, la generación de vapor y electricidad y los sistemas de administración de la información.

En el capítulo 5 se realiza un análisis de los sistemas utilizados actualmente para el control automático de los procesos y las perspectivas de automatización integrada de las plantas extractoras en el mediano plazo.

En el capítulo 6 se analizan nuevas propuestas para el mantenimiento de los equipos, y las ventajas que traen este tipo de sistemas para la reducción de costos y el incremento de los indicadores de productividad de las plantas.

En el capítulo 7 se discuten las nuevas tecnologías que actualmente están siendo implementadas para el uso de la biomasa residual de las extractoras, desde la obtención de biogás y compost, hasta la degradación térmica para la generación de energía eléctrica mediante centrales de cogeneración o gasificación alimentadas con biomasa.

Finalmente, en el capítulo 8 se hace una descripción de las tecnologías utilizadas para la extracción de aceite de palmiste, siendo este el principal co-producto del proceso.

Cabe aclarar que este documento no pretende en ningún momento constituirse en una guía para un diseño detallado o señalar en forma específica alguna tecnología en particular, más sí presentar el panorama actual de desarrollo de todas las tecnologías para que el lector constituya su propio criterio al respecto.

La investigación y elaboración del contenido del presente libro han sido posibles gracias a la colaboración y dedicación de expertos y técnicos con amplia experiencia en el sector de la palma de aceite, que aportaron su conocimiento para la estructuración del mismo. Un especial agradecimiento a Guido Sierra y a Roberto Marroquín, quienes participaron activamente en este proyecto.

Guido Sierra es Ingeniero Químico de la Universidad Industrial de Santander (UIS), Especialista en Gerencia de Proyectos de la Universidad Autónoma de Colombia, Maestría en Conversión de Energía y en Administración de Negocios (MBA) de la Universidad Federal de Itajubá - UNIFEI (Brasil).

Roberto Marroquín es Ingeniero Mecánico de la Universidad de Los Andes, con estudios en Recursos Hidráulicos en la Universidad Nacional de Colombia y Alta Gerencia de la Universidad de Los Andes.

De otra parte, a Fedepalma, por la confianza otorgada, que permitió la total autonomía intelectual de los autores y colaboradores.



Capítulo 1

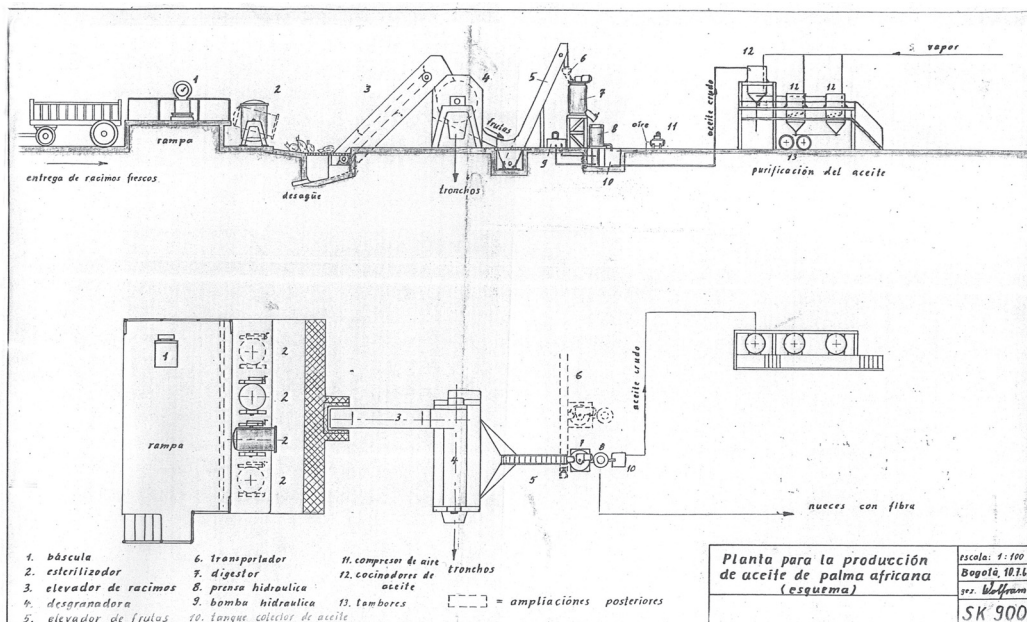
¿Por qué adoptar procesos modernos en plantas extractoras de aceite de palma?

Breve desarrollo histórico de las plantas extractoras de aceite en Colombia y Latinoamérica

En la primera mitad del siglo XX varias compañías europeas, dentro de las que se destacan STORK – Amsterdam de Holanda, comienzan el desarrollo de plantaciones y extractoras de aceite de palma en países del sudeste asiático como Malasia e Indonesia. Más tarde surgen nuevas empresas fabricantes de equipos con desarrollos paralelos como la Usine de Weckl de Luxemburgo.

Con el inicio y rápido crecimiento de los cultivos de palma en Latinoamérica, particularmente en países como Colombia, Ecuador, Perú, Honduras y Costa Rica, estas compañías son invitadas a participar en el establecimiento de las plantas extractoras en la región e inician sus visitas y propuestas técnicas a los productores locales. Es así como en Colombia surgen plantas extractoras construidas por completo bajo estas tecnologías como Indupalma, Coldesa y Patuca. En los otros países de Latinoamérica se destacan la planta de San Alejo en Honduras, Palmas El Espino en Perú y tres plantas extractoras construidas por STORK en Costa Rica.

Con base en el modelo de STORK algunos fabricantes de equipos nacionales comienzan a desarrollar equipos para plantas



Plano planta extractora
Gerardo Mueller

extractoras “copiando” los conceptos de diseño y adaptándolos al entorno nacional; en este sentido se destaca el aporte realizado por Gerard Mueller, ingeniero alemán que dirigía en ese entonces la compañía Frick Industrias Metálicas Ltda., que producía tanques y reactores para las industrias química y láctea, además de maquinaria para otros diversos procesos industriales.

Mueller es el encargado de adaptar muchos de los diseños de STORK para construir plantas de pequeña capacidad (aproximadamente entre 500 y 1.000 kg/h) y finalmente, en 1969 Frick cambia su razón social por la de “Consultécnica Ltda.” y se dedica al diseño y fabricación de equipos para extractoras de aceite, y para entonces ya había montado una docena de “cocinas” extractoras en todo el país. Consultécnica Ltda. abre sus instalaciones en Bosa (cerca de Bogotá) y se da inicio a la industria nacional para la fabricación de equipos para la extracción de aceite de palma.



Primeros digestores

Con la expansión del cultivo y a finales de los años setenta, si bien muchos empresarios continuaron utilizando la maquinaria y los diseños europeos en casos como las plantas extractoras de Unipalma, Palmas de Tumaco, Bucarelia y Palmeras de la Costa S.A., también surgen nuevas firmas constructoras de equipos

en Colombia como son Sudeim, Tecnintegral, Alejandro Castillo y muchas otras quienes, junto con las ya existentes, se encargan de fomentar la construcción de plantas extractoras. Sin embargo, la tendencia en el caso de Colombia y Latinoamérica, a diferencia de lo que ocurría con Malasia e Indonesia, es la de diversificar los procesos de construcción de las plantas extractoras para reducir costos, con la desventaja de que en muchos casos la mezcla de diferentes criterios, parámetros y/o diseños de los fabricantes, ocasiona una reducción en la eficiencia de extracción y una pérdida de la responsabilidad del constructor o fabricante de los equipos.

Debido a la eficiencia presentada por las plantas construidas por los europeos y a la calidad en los diseños de los equipos, durante finales de los años setenta y toda la década de los ochenta, los desarrollos tecnológicos en el proceso de extracción de aceite en Latinoamérica fueron muy pocos; los empresarios estaban orientados con prioridad al incremento del área sembrada y las mejoras sobre la extractora eran únicamente realizadas por sus ingenieros y mantenidas como un activo de su empresa, sin permitir ningún tipo de divulgación o intercambio de ideas para el desarrollo conjunto del sector. Además, en ese momento las empresas fabricantes europeas suspenden la fabricación de equipos para la industria dada la fuerte competencia de equipos malayos y de Latinoamérica, los cuales eran fabricados con menores costos de producción.

Digestión y prensado en una planta extractora



En los años noventa la apertura económica y la crisis de precios que sufrió el sector motivaron una reacción dentro del mismo y el inicio del desarrollo tecnológico en las dos áreas de cultivo y planta extractora. En una primera instancia se propone la automatización de los procesos industriales al interior de la planta extractora; posteriormente, con el nacimiento de Cenipalma comienza la consolidación y el intercambio de información entre los profesionales de las diferentes empresas, que promueve la mejora continua y permite que las plantas extractoras colombianas alcancen eficiencias de extracción mayores que las reportadas por Malasia e Indonesia y ayuda a que todo el sector palmicultor permanezca cerca de los estándares de competitividad en el concierto mundial.

Hoy en día, con base en los requerimientos energéticos y ambientales, se reconoce el potencial que tienen las plantas extractoras de aceite para convertirse en verdaderos complejos industriales con productos de gran diversidad y alto valor agregado, maximizando la eficiencia en todos sus procesos. Esto no será posible si el sector palmero colombiano no incrementa los esfuerzos orientados al desarrollo e innovación tecnológica en todos los aspectos, tal y como lo hacen los países del sudeste asiático.

Exigencias ambientales, energéticas y otras del mundo actual

Con base en las tendencias actuales, la industria palmera está preparada para continuar su crecimiento con el fin de satisfacer la creciente demanda mundial. Sin embargo, es imperativo que esta expansión se haga en forma sostenible. Aunque plantaciones grandes y pequeñas bien administradas han servido como modelos en términos de rendimiento económico y de responsabilidad social y ambiental, existe la preocupación de que no todo el aceite de palma se produce en la actualidad con un modelo sostenible.

Para asegurar que esto se cumpla fue necesario desarrollar una definición de producción sostenible de aceite de palma, globalmente aceptada y promover el uso y la implementación de mejores prácticas de manejo que siguieran a esta definición. En abril

de 2004 se estableció la Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (RSPO). Esta organización sin ánimo de lucro tiene representantes de los más importantes participantes en la cadena de suministro del aceite de palma: cultivadores, procesadores, comercializadores, fabricantes de productos de consumo, distribuidores, bancos, inversionistas y organizaciones no gubernamentales defensoras del medio ambiente, conservación de la naturaleza y desarrollo social. La RSPO es una plataforma única para una cooperación pragmática que contribuya a la expansión del uso y producción sostenible de aceite de palma.

Según la RSPO la producción del aceite de palma sostenible consta de un manejo y unas operaciones que son legales, económicamente viables, apropiadas al medio ambiente y beneficiosas en lo social. Esto se consigue mediante la aplicación de una serie de principios y criterios reconocidos como válidos de acuerdo con la tecnología disponible en el sector, los cuales están siendo aplicados por un período de dos años y serán revisados posteriormente. Los ocho principios básicos establecidos se relacionan a continuación:

1. Transparencia
2. Apego a la ley y demás desarrollos normativos
3. Compromiso para la viabilidad económica y financiera de largo plazo
4. Aplicación de las mejores prácticas por parte de los cultivadores y procesadores
5. Responsabilidad con el medio ambiente y conservación de los recursos naturales y la biodiversidad
6. Responsabilidad con los empleados, individuos y comunidades afectadas por el cultivo o la planta de beneficio
7. Desarrollo responsable de los nuevos proyectos palmicultores
8. Compromiso con el mejoramiento continuo en las áreas claves de la agroindustria.

Para el caso de las plantas extractoras de aceite, se deben tener en consideración los principios 4, 5 y 8, pues de ellos se encuentran algunos criterios directamente relacionados con el proceso, como son la utilización de buenas prácticas de procesamiento, la necesidad de reducir y/o valorizar los desechos generados, maximizar el uso eficiente de la energía, el uso de energías re-



Laguna Biogás

novables y la ejecución y el monitoreo de planes para reducir la contaminación y las emisiones, incluyendo los gases de efecto invernadero y la implantación de un esquema de mejoramiento continuo (RSPO, 2005).

De este modo, las nuevas plantas extractoras se ven en la necesidad de incorporar estrategias y procesos innovadores que promuevan o faciliten el cumplimiento de estos principios y criterios y permitan el desarrollo sostenible según lo establecido por el RSPO.

Tendencias de las plantas extractoras para adaptarse a las exigencias actuales

El aumento de los precios del combustible y los requisitos de calidad y eficiencia de los procesos, establecidos por el mercado para obtener un proceso sostenible de producción de aceite, han generado la necesidad de desarrollar y/o adaptar nuevas tecnologías dentro de las etapas del proceso de extracción, además de utilizar la biomasa residual y el biogás para la generación de energía eléctrica proveniente de fuentes renovables.

Dentro de estas nuevas tecnologías se destacan la esterilización continua y vertical, la clarificación dinámica y el uso de los subproductos en compostaje, aprovechamiento del biogás mediante proyectos MDL (Mecanismo de Desarrollo Limpio) y generación de energía con biomasa.



Bombeo de lodos

Además de incrementar la eficiencia y reducir el consumo de combustibles fósiles en las plantas, este tipo de proyectos permitirán acceder a ingresos adicionales mediante la venta de CER (Certificados de reducción de emisiones). A lo largo del libro se pretende describir estos procesos actualizados junto con los criterios básicos para la localización, diseño y establecimiento de la planta, los servicios industriales asociados y el control y monitoreo de los procesos.



Capítulo 2

Proyecto moderno de una planta extractora de aceite de palma

Aspectos para considerar en la preparación de un proyecto

Si bien existen varias referencias acerca de los aspectos iniciales que deben ser considerados en el momento de comenzar un proyecto para la construcción de una planta extractora de aceite (Wambeck, 2006), muchas de ellas poseen conceptos clásicos que no han sido actualizados para involucrar los requisitos actuales relacionados con el concepto de desarrollo sostenible y las innovaciones técnicas en el proceso de extracción, por lo que se hace necesario realizar una discusión sobre aquellos aspectos que han alcanzado una gran importancia actualmente en el momento de realizar el proyecto y montaje de una planta extractora.

Muchos de los factores que se deben tener en cuenta son de orden agronómico y se considera que antes de empezar el proyecto, el responsable de este y de la construcción de la extractora debe realizar un estrecho vínculo con el departamento agronómico del cultivo para obtener la información de partida de su proyecto; en ese sentido, se considera necesario realizar un breve comentario sobre ellos.

Capacidad de la planta extractora

La capacidad de la planta está directamente relacionada con el área sembrada, la proyección de siembras y la producción de los racimos de fruto en el cultivo; es así que al inicio se debe conocer cuál es el promedio de producción de racimos en toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea por año (RFF/ha/año). Con base en esta información, puede calcularse cuál será la producción de fruto en el mes pico y dimensionar la planta extractora para que tenga la posibilidad de procesar este fruto.

La capacidad de la planta está directamente relacionada con el área sembrada, la proyección de siembras y la producción de los racimos de fruto en el cultivo.

Antes, la distribución del fruto producido por la plantación a lo largo del año presentaba en muchos casos grandes diferencias de un mes a otro, con concentraciones hasta de 15% de la producción anual en un mes y mínimos de 7% en meses de baja producción. Este comportamiento ocasionaba un sobre-dimensionamiento de las plantas, de manera que se alcanzaban muy bajos índices de utilización como promedio para el año y se suponía, de manera equivocada, una ineficiencia de las plantas.

En la actualidad, la utilización de sistemas de riego y otras prácticas agronómicas han permitido una nueva distribución en la producción de racimos a lo largo del año, en donde el mes de máxima producción equivale aproximadamente a un 11-12% del total anual y los meses de baja producción alrededor de 9% con lo que se pueden alcanzar altas eficiencias de utilización de la planta, gracias a un correcto dimensionamiento.

La proyección de siembras determina la forma en que la planta extractora aumentará su capacidad de procesamiento y por ende, la distribución de la inversión de capital a lo largo de la vida del proyecto. El concepto de plantas modulares ha venido ganando terreno en los últimos años y permite una fácil ampliación de las plantas sin limitaciones de tipo operativo relacionadas con la falta de espacio.

Influencia de la semilla

Este punto está relacionado directamente con el anterior, debido a que la existencia de nuevas variedades ha incrementado la producción de racimos en el año y ha cambiado las características de la materia prima procesada.

Por ejemplo, muchos de los diseños anteriores de las prensas fueron hechos para trabajar con un 15-18% de nuez como parte del fruto; en la actualidad, el promedio de contenido de nuez en los racimos es de 11-12% únicamente, por lo que en algunos casos se necesita utilizar equipos de mayor potencia para la extracción y con diseños mejorados como se realizan en la actualidad.



Aceite proveniente de diferentes tipos de fruto

Adicionalmente, existen variedades que tienen una producción más estable a lo largo del año y por consiguiente tendrán una incidencia directa en el dimensionamiento de la planta.

En un futuro cercano se espera que las nuevas variedades tipo híbrido determinen la necesidad de realizar modificaciones al diseño de los equipos (en especial en el prensado) para adaptarse a las nuevas características de la materia prima.

Distribución del cultivo

Con el incremento constante en los costos de los procesos logísticos, tales como el transporte de materias primas y productos terminados, es muy importante conocer y analizar la distribución geográfica del cultivo en torno al sitio propuesto para la planta extractora. Este análisis nos permitirá establecer cuál es el tipo de transporte de fruto que deberá ser utilizado para reducir costos y garantizar un flujo continuo de materia prima para la planta.

Cada uno de los diferentes sistemas de recolección y transporte de fruto como los camiones con contenedores y sistemas hidráulicos, los camiones con grúa auto-cargadora, el cable-vía y el transporte tradicional en volquetas, tienen sus ventajas y desventajas por lo que hacen parte del proyecto particular que se esté analizando.



Cable vía

La distribución del cultivo y el uso que se tenga estipulado para los subproductos del proceso afectan en forma directa la ubicación

de la planta extractora; así por ejemplo, si la tusa está destinada completamente para su utilización en el campo, la extractora deberá estar localizada al interior de la plantación para reducir los costos de transporte. Por otra parte, si se considera que en algún momento se puede llegar a comercializar energía de la biomasa y se decide incluir la tusa como combustible, la extractora debe ubicarse cercana a una vía principal o a la interconexión eléctrica a donde será suministrada esta energía.

Regulaciones regionales

Este es tal vez el punto más importante para tener en cuenta en el comienzo de cualquier proyecto industrial. Desde el punto de vista ambiental, en el caso colombiano existen regulaciones y normas ambientales establecidas por el decreto No. 1220 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el cual trata sobre el proceso de extracción de palma de aceite en particular. Sin embargo, las corporaciones autónomas regionales pueden emitir sus propias regulaciones en lo que se refiere a emisiones atmosféricas y contaminación de aguas.

Aspectos modernos para un proyecto

Además de los factores mencionados antes, hoy cualquier nuevo proyecto para una extractora de aceite de palma debe involucrar, junto con los estudios previos de ingeniería de análisis de suelos y aguas, una serie de propuestas y mejoras en los procesos, equipos y metodologías utilizadas para adaptarse a los requerimientos técnicos, ambientales, económicos y de sostenibilidad. En primera instancia, los requisitos que deben ser cumplidos son las regulaciones ambientales que demandan una reducción de emisiones y consumo de recursos naturales.



Turbinas de contrapresión

Es así como últimamente se ha podido observar que la extracción del aceite de palma ha adoptado tecnologías implementadas en otras industrias, tales como la integración energética para reducir los consumos de energía y combustibles, el desarrollo de nuevas tecnologías en la generación de vapor, los sistemas de control y monitoreo, la cogeneración para el uso de subproductos en la generación y venta de energía eléctrica y el “Water PINCH” que propone la reutilización de agua y la reducción en el volumen de vertimientos y la carga contaminante.

Es así como, además del proceso de extracción de aceite, los industriales han aumentado su interés en el desarrollo de nuevos procesos y tecnologías de transformación de los residuos para la obtención de nuevos productos con alto valor agregado que puedan ser comercializados junto con el aceite y la almen-dra de palma.

Estudios, diseños preliminares y obras de adecuación

Estudios y diseños topográficos

La selección del lote o zona más adecuada para el desarrollo de una planta extractora se realiza de acuerdo con los aspectos importantes para el normal funcionamiento de esta. Los más importantes son agua, cercanía de la línea de energía, localización respecto a los cultivos, aspectos sociales de cercanía de viviendas y transporte del personal.

Los levantamientos topográficos se deben iniciar realizando un reconocimiento de la zona y la localización del vértice geográfico, punto de referencia geográfica localizado en las cercanías del lote, con el fin de realizar el amarre topográfico del levantamiento.



Obras civiles de adecuación del terreno para la construcción de una planta extractora

Posteriormente se deben realizar las actividades correspondientes a la materialización de puntos para la colocación de los GPS (sistema de posicionamiento global) y el posicionamiento por satélite de dos puntos y de las poligonales, las cuales sirven para definir la cuadrícula del levantamiento y la orientación de las trochas.

Para realizar los levantamientos topográficos se debe contar con una comisión de topografía, compuesta por dos topógrafos, un cadenero y una cuadrilla de seis obreros. También se debe utilizar una estación total, un nivel de precisión y equipos de GPS de doble frecuencia.

Una vez finalizados los levantamientos topográficos del lote se debe proceder al cálculo de las carteras topográficas, calculando las coordenadas y cotas del levantamiento. El dibujo se debe efectuar de preferencia en Autocad-2000. Se dibujarán curvas de nivel cada medio metro. Finalmente, como resultado de los levantamientos, se presentará un plano topográfico para el lote en escala 1:500.

La selección de la ubicación de la planta debe tener en cuenta aspectos importantes como el agua, la cercanía a la energía, localización de los cultivos, cercanía de vivienda y transporte del personal.

Estudios de suelos y diseños de pavimentos

Se deben hacer los sondeos para determinar las propiedades del suelo a partir de los cuales se definen los parámetros de resistencia y compresibilidad de los mismos, para el diseño estructural de las fundiciones.

Se realizan las perforaciones necesarias con profundidades adecuadas, en roca y suelo, con toma de muestras inalteradas, para determinar las propiedades de compresibilidad y resistencia al esfuerzo cortante.

Con base en la topografía detallada obtenida se programan las investigaciones de campo requeridas para la caracterización geotécnica del estrato subyacente, teniendo en consideración la disposición de equipos de la planta.

Se realizan los apiques necesarios para definir las vías internas. Una vez concluidas las investigaciones geotécnicas en campo se debe hacer la caracterización geotécnica del suelo en la zona de las vías internas, y presentar un informe con las recomendaciones sobre el tipo de pavimento.

Para la circulación de los vehículos en el interior de las instalaciones y sobre las plataformas de maniobras se define si se requiere colocar una capa para protegerlas, tanto por el tránsito de los vehículos como por la erosión. Con este fin se dimensiona una estructura de pavimento de acuerdo con los esfuerzos y defor-

maciones admisibles en las interfaces de los materiales según las solicitudes impuestas por el tránsito.

Estudios y diseños de sistemas de drenaje

Es necesario realizar el estudio de pendientes y condiciones de la zona donde se establecerá la planta, para determinar los diferentes drenajes y canales en la fábrica y para la ubicación de las lagunas de estabilización.

Se inicia esta actividad con la recopilación de la información hidrológica en la zona del proyecto, que permite evaluar los caudales de diseño de las obras de drenaje necesarias para la evacuación de aguas lluvias y aguas del proceso.

Para determinar las características de la precipitación en la zona del proyecto se deben emplear los registros de precipitación de la estación meteorológica más cercana.

Estudios y diseños viales

Incluye las vías internas, las zonas duras y el diseño de pavimento. Los criterios de diseño vial se deben basar en las recomendaciones de los manuales y especificaciones para vías de acceso en este tipo de proyectos. De acuerdo con el estudio topográfico y a la localización preliminar de la planta extractora se establecen los criterios de diseño para las vías de acceso e internas del proyecto, la localización de ejes y el diseño geométrico.

Se definen los parámetros de las vías tales como: radios de giro, pendientes, peraltes, bombeos, anchos de vía, zonas de parqueo y puntos de drenaje. Estas características de las vías internas se deben consignar en los planos del informe final de vías.

Los diseños geométricos se realizarán sobre la cartografía levantada y en el esquema general de la distribución de la infraestructura que se va a realizar. Estos diseños se desarrollan de manera simultánea y en forma coordinada con los estudios geotécnicos e hidráulicos.

Para el presupuesto de las obras necesarias, las cantidades de obra de las diferentes vías requeridas se deben tener en cuenta para la evaluación final de los costos.

Estudios y diseños eléctricos hasta subestación

En caso de que se decida realizar una conexión de emergencia para operación sin generación de energía, se debe proceder a establecer la carga con la que se puede contar en la planta extractora, de acuerdo con la tensión de la línea que pasa cerca del lote.

Bajo esas condiciones se realizan los diseños conceptuales de la infraestructura eléctrica necesaria para la alimentación de la planta, consistente en la construcción de un alimentador desde el circuito cercano y de una subestación de acuerdo con la disponibilidad de energía definida, en el sitio de la planta previsto para el edificio de fuerza.

La subestación puede ser construida en dos áreas contiguas. En la primera se pueden instalar el transformador de potencia, la estructura de llegada de la línea de alimentación, la malla de puesta a tierra, las celdas de protección y medida del transformador. Estas últimas se deben instalar dentro de una caseta independiente. En la segunda área se puede construir una caseta, dividida en dos cuartos separados, en uno de ellos se instalan los tableros de distribución de baja tensión, el tablero de transferencia automática, el transformador para las oficinas y zonas comunes, y en el otro, la planta diésel de emergencia. En esta caseta se debe prever la construcción de un cárcamo para la interconexión de los equipos y tableros.

Las celdas de protección y medida del transformador pueden ser de tipo interior y se instalan dentro de una pequeña caseta que se construya en frente del transformador.

Todas las acometidas internas entre los diferentes equipos de la subestación (transformador, celdas de protección y tableros) deben ser de tipo subterráneo y para ello se proyecta la instalación de dos cajas de inspección.

El sistema de puesta a tierra de la subestación tiene por finalidad proteger la vida de las personas, evitar daños en los equipos por las sobretensiones y mejorar la efectividad de las protecciones eléctricas al proporcionar una adecuada conducción de la corriente de falla a tierra. Para este fin se debe tener prevista la instalación de una malla de puesta a tierra con sus correspondientes varillas.

La infraestructura eléctrica necesaria para la planta extractora consiste en la construcción de un alimentador y de una subestación de energía.

La sincronización entre la planta diésel y el transformador de la subestación se hace de manera automática en el tablero previsto para este fin, que debe contar con todos los elementos de medida, protección y maniobra para realizar la transferencia de un sistema al otro una vez que se detecte alguna ausencia de tensión.

Estudio y diseño preliminar del tamaño de la planta extractora de aceite

Se debe iniciar con la determinación del tamaño o capacidad de la planta extractora, de acuerdo con el área sembrada con palma de aceite en la zona de influencia del proyecto, las siembras previstas para los próximos años y las otras hectáreas de productores que en un momento dado puedan enviar su fruta a la nueva planta. Lo anterior arroja el área sembrada que servirá al proyecto.

Considerando los rendimientos de fruta de palma por hectárea para cada año de producción de acuerdo con la zona, la precipitación y la variedad de fruta escogida, se puede determinar la capacidad de la planta de acuerdo con la cantidad de fruto para procesar cada año. Para esto se deben tener en cuenta los siguientes parámetros técnicos: Pico de producción, horas día de trabajo efectivo, días efectivos de trabajo mes y meses efectivos de trabajo.

De acuerdo con el análisis anterior se concluirá en qué momento se debe iniciar la construcción de las obras civiles y la primera etapa de la planta extractora, con su capacidad de proceso medida en toneladas por hora (t/h) de racimos de fruta fresca (RFF), determinada de acuerdo con lo anterior.

También se establece la capacidad final de algunos equipos, de acuerdo con las fechas de ampliaciones previstas de la planta, hasta llegar a la capacidad final.

Estudio y diseño preliminar de tratamiento de residuos líquidos

Dado que el proceso de extracción requiere una gran cantidad de agua, a lo largo del mismo se genera un efluente residual con una alta carga contaminante. Para realizar el tratamiento de este

Existen dos alternativas para el sistema de tratamiento de aguas: la primera es un sistema de lagunas de estabilización y la segunda un sistema de lagunas con reactores de flujo ascendente (UASB).

flujo y permitir su vertimiento seguro en las fuentes de agua cercanas a la planta, es necesario utilizar sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Es así como, se deben analizar las alternativas más importantes de sistemas de tratamiento de aguas. Una primera alternativa es un sistema de lagunas de estabilización, en donde se realiza el tratamiento del efluente mediante la acción de bacterias aerobias y anaerobias en una laguna de equalización seguida por lagunas anaerobias y finalmente una laguna facultativa. Una segunda alternativa consiste en una laguna de equalización seguida por reactores de flujo ascendente (UASB), una laguna anaerobia y finalmente una laguna facultativa.



Sistema de tratamiento de aguas residuales

La primera alternativa ocupa un espacio mayor para realizar el tratamiento. La segunda alternativa ocupa un espacio menor y tiene como ventaja adicional la producción de gas metano que puede recuperarse y utilizarse como combustible en la planta sin realizar el carpado de las lagunas anaerobias para colectar el gas producido.

Otras alternativas son: i) realizar el proceso de compostaje utilizando los residuos sólidos y líquidos para la producción de fertilizantes para la plantación o ii) la propia eliminación de los residuos líquidos al utilizar tecnologías como esterilización continua y clarificación dinámica.

Plan de manejo ambiental

Se debe recopilar y analizar la información técnica relacionada con lo ambiental, en particular para Colombia el decreto No. 1220 de 2005 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y sobre aspectos ambientales inherentes al proceso de extracción de aceite. (Consultar la Guía ambiental para el subsector de la agroindustria de la palma de aceite, Fedepalma, 2002)

El informe final del plan de manejo ambiental se divide en varias partes:

La primera parte responde al estudio de la caracterización del área de influencia, que se inicia con la metodología para la descripción de la zona destinada a la construcción del proyecto de la

extractora de aceite de palma. Se deben considerar los aspectos socio económicos, asentamientos humanos, uso de suelos, estructuras de infraestructura instaladas y cuerpos de agua.

La segunda parte responde a las tecnologías basadas en un manejo adecuado de contaminantes para la protección del aire, suelos y recursos hídricos.

La tercera parte responde al análisis del impacto que considere las medidas de prevención, compensación y mitigación, con los costos que involucra, para lo cual se analizarán los principales impactos generados por la actividad productiva.

Obras preliminares y de adecuación

Se desarrollan los estudios y diseños de las obras civiles generales y de adecuación. Las obras se llevan a cabo en el lote donde está prevista la construcción de la planta extractora de aceite de palma que contiene las diferentes zonas de proceso y trabajo, y la construcción del sistema de tratamiento de aguas industriales.

La planta extractora de aceite de palma contiene varias zonas donde se deben realizar las siguientes obras civiles generales y de adecuación:

- Bases para la zona de la báscula, la cual se encuentra a la entrada de la planta
- Rampa de acceso vehicular al segundo nivel
- Estación de fuerza
- Zona de accesos vehiculares y vías internas
- Zona de parqueos.

La disposición de los equipos e instalaciones para el tratamiento de aguas industriales residuales, debe hacerse de acuerdo con la cercanía a las fuentes de agua existentes y a las normas ambientales.

En el informe correspondiente a las obras preliminares hay que presentar el estimativo de las cantidades de obra anteriormente descritas.

Se deben reportar las cantidades de obra que se van a ejecutar y las especificaciones técnicas de la parte civil para las labores

generales y de adecuación, con cuadros donde se relacionen: i) las cantidades de obras de limpieza, descapote, excavación y rellenos generales necesarios para el terrajeo del lote donde funcionará la planta extractora; ii) las cantidades de obra necesarias para la construcción de las vías internas del proyecto (excavación en cajón); iii) las cantidades de obra para la construcción de drenajes con excavaciones para canales y cunetas, concretos para canales, cunetas y estructuras especiales, aceros de refuerzo para estructuras especiales, cajas de conexión y cunetas y rejillas de recubrimiento para tráfico pesado en hierro fundido y recubrimiento anticorrosivo; iv) las cantidades de obra para la construcción del sistema de tratamiento de aguas industriales con excavaciones para lagunas, concretos, aceros y tuberías y v) las cantidades de obra de las capas impermeabilizantes en arcilla y capas impermeabilizantes en geomembrana de las lagunas.

Obras civiles y edificios

La planta de extracción de aceite de palma contiene varias zonas de proceso donde se realizarán las siguientes obras civiles:



Montaje de una planta extractora

- Oficinas de administración de la empresa
- Oficinas para el control de laboratorio
- Sección de calderas
- Sección de proceso
- Sección de esterilización
- Sección de tanques de almacenamiento de aceite
- Sección de tratamiento de aguas con su tanque elevado de agua y el filtro a presión de tratamiento de agua
- Sección de manejo de efluentes con el tanque florentino



Vista exterior de una planta extractora

- Sección de instalaciones eléctricas
- Planta de proceso palmiste
- Cuarto de control centralizado.

En el informe se presenta el estimativo de las cantidades de obra descritas.

Se deben reportar las cantidades de obra que se van a ejecutar y las especificaciones técnicas de la parte civil para la zona de proceso, con cuadros donde se relacionen: i) las cantidades de obras de excavación y rellenos generales y ii) las cantidades de obra necesarias para la construcción de bases de equipos y edificio, con sus concretos y aceros de refuerzo.

Aspectos financieros de un proyecto

Se debe realizar un análisis para establecer las diferentes tecnologías que serán consideradas y aplicadas a las secciones que se pueden utilizar en el proceso. Se deben armar varias alternativas con las propuestas de equipos y diferentes sistemas como por ejemplo esterilización continua, vertical u horizontal, clarificación dinámica o estática, caldera de alta o baja presión, lagunas de oxidación o biorreactores, etcétera.

De igual forma se deben establecer las diferentes alternativas con sus equipos, labores, obras civiles, montaje y costos de cada una de las alternativas, discriminando los costos de equipos, estimativos y obras preliminares.

Para cada una de las alternativas de planta de extracción se puede realizar un cuadro donde se incluyan, entre otros, la cantidad de fruta para procesar cada año, la capacidad de la planta extractora, la inversión, los ingresos por venta de los productos, los egresos por costos de funcionamiento, el flujo de caja proyectado y su acumulado. A partir de lo anterior, se pueden aplicar criterios de evaluación de proyectos como Valor Presente Neto (VPN) y Tasa Interna de Retorno (TIR), que nos indicarán que tan atractiva, desde el punto de vista financiero, es cada alternativa.

Del análisis de las diferentes alternativas presentadas saldrán algunas recomendadas como las más opcionadas por tener la mejor TIR y VPN.



Capítulo 3

Descripción específica
de cada sección
del proceso

Evolución de extracción de aceite de palma

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) es la única fruta de la que se pueden extraer dos tipos de aceite que son químicamente diferentes: el aceite de palma que viene del mesocarpio (pulpa del fruto) y el aceite láurico de la almendra de la palma o palmiste en el corazón del fruto. Los dos aceites están separados por la delgada cáscara de las almendras.

Semisólidos a temperatura ambiente, estos aceites o grasas pueden ser separados en sus fracciones sólida y líquida, conocidas como estearinas y oleínas respectivamente. También pueden ser procesados por refinación física o química para obtener tanto aceite de palma o aceite de palmiste refinado, blanqueado y deodorizado (RBD) o neutralizado, blanqueado y deodorizado (NBD). Combinaciones de estos procesos llevan a varios tipos de productos de los aceites de palma y de palmiste.

Hasta los primeros años del siglo XX el aceite de palma era procesado solo por los métodos tradicionales de aldea, en los cuales las frutas sueltas eran recogidas de la tierra o algunos racimos eran cortados del árbol. Sin embargo, comenzando en la década de 1920 la United Africa Company y los funcionarios coloniales



Proceso artesanal de extracción de aceite de palma

británicos en Nigeria empezaron a experimentar con ollas de vapor y prensas de mano, diseñadas para hacer más eficiente la producción a nivel de aldea en términos de uso del trabajo y de producción de aceite. Aún así, la carencia de dinero en efectivo no dejó que la mayoría de los granjeros intentaran la nueva maquinaria, a excepción de algunos afortunados receptores de muestras gratis o de subsidios de gobierno en los años 40 (Martín, 1988).

En el sureste asiático para producir el aceite de alta calidad y el volumen que requerían los procesadores occidentales de alimentos, se realizó una investigación de ensayo y error que condujo al desarrollo de las fábricas más sofisticadas. Por otra parte, en África Occidental y América Latina los procesos se realizaban con una amplia variedad de métodos, proporcionando el aceite para el consumo local y usos tanto industrial como comestible.

En cualquier tipo de proceso los pasos principales requeridos son los siguientes:

- Separación de los frutos individuales del racimo
- Ablandamiento de la pulpa de la fruta
- Extracción del líquido aceitoso
- Purificación del aceite.

Con el rápido crecimiento de las exportaciones del siglo XX, en África Occidental llegó la introducción de máquinas simples para

facilitar el trabajo y aumentar la producción de aceite de una cantidad dada de fruto. Las primeras máquinas, antes y después de la guerra 1914-1918, según lo descrito por Hartley (1988) incluían un cilindro con batidores manuales, que era alimentado con fruta ablandada y agua caliente. Después de batir, una mezcla de aceite-agua era retirada a través de un tamiz. Otro sistema utilizaba una olla especial y una prensa como anexos al proceso.

Sin embargo, el primer dispositivo adoptado extensamente fue una prensa modificada de vino y de sidra: la prensa Duchscher. Esta consistía en una canasta cilíndrica de listones de madera, sostenida por aros de hierro y un plato con una rosca de tornillo. La rosca de tornillo era girada manualmente por medio de barras largas (de la manera del cabrestante de una nave), forzando el plato sobre la fruta despulpada. El líquido de la exudación era recogido en un canal que rodeaba la canasta.

Prensas similares, pero usando una canasta metálica cilíndrica perforada, siguen aún funcionando hoy, dando producciones de 55 a 65% del aceite contenido. Un análisis posterior de las necesidades de mecanización en la aldea concluyó que este fue el implemento más práctico, dado que podía ser fabricado y mantenido localmente con costos inferiores en comparación con otras prensas. Sin embargo, los granjeros en Nigeria (que fue alguna vez el mayor exportador del mundo de aceite de palma), desde los años 50 han sido renuentes a invertir en esta u otras mejoras debido a los bajos precios ofrecidos por los comercializadores controlados por el Estado.



Digestor y prensa doble tornillo

El desarrollo siguiente en prensado fue la introducción en 1959 de la prensa hidráulica manual de STORK - Amsterdam. Esta era capaz de procesar de 300 a 500 kilos de fruta por hora y podía recuperar 80% del aceite contenido. El mecanismo hidráulico fue motorizado más adelante.

Una propuesta diferente de mecanización trajo el *expeller* de Colin (primero patentado en 1904), que en esencia es similar a una máquina de picar pulpa doméstica. Consiste en una canasta cilíndrica perforada, con un tornillo en espiral o gusano que es girado manualmente por medio de un engranaje. La fruta cocinada se alimenta al tornillo por una tolva y la presión desarrollada, cuando el tornillo empuja la fruta hacia delante, obliga al aceite a salir a través de las perforaciones. La fibra y las nueces se descargaban en el extremo de la canasta. La máquina tenía una capacidad de 100 kilogramos de fruta cocinada por hora, o 250 kilogramos por hora si está motorizada. El *expeller* de Colin llegó a ser popular después de 1930, principalmente en Camerún. Sus limitaciones eran una eficiencia reducida con la fruta Dura, que forma el grueso de la cosecha silvestre de la palma de aceite, desgaste rápido del tornillo y un costo relativamente alto. El principio del *expeller* se ha desarrollado más a fondo en la prensa de tornillo encontrada en todas las plantas de aceite modernas (Hartley, 1988).

Las prensas descritas aquí proporcionaron un proceso relativamente eficiente para el paso de extracción del líquido aceitoso durante la producción de aceite y condujeron a los investigadores a buscar mejoras en los otros pasos. Varias innovaciones resultaron de un proyecto comenzado por el Instituto de Nigeria para la Investigación de la Palma de Aceite (NIFOR) durante la década de 1950 en cooperación con la Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas (FAO) y del Programa de Desarrollo de Naciones Unidas (UNDP).

Las operaciones unitarias y equipos que estaban involucrados en esa tecnología para la producción de aceite de palma eran los siguientes:

- Cocinar los racimos de fruta en tanques cilíndricos calentados con madera. Se cargan con los racimos de fruta fresca (RFF) cortados en pedazos.

- Un desfrutador operado a mano, que consistía en un cilindro compuesto de listones y que giraba sobre un eje horizontal que golpeaba las secciones cocinadas de racimos hasta que los frutos individuales se separaban de este y caían entre los listones.
- Un digestor (que rompía la fruta ablandada) y consistía en un cilindro horizontal en el cual los brazos batidores rotaban, accionados por un motor diésel pequeño.
- Una prensa hidráulica, que fue introducida en 1959.
- Una unidad de clarificación que consistía en dos tanques unidos, donde el calentamiento con agua causaba que la capa de aceite en el primer tanque desbordase por la parte superior al segundo tanque. Allí era secado por el calor sobrante del fuego debajo del primer tanque.

Eficiencias de extracción de 87% con un nivel de ácidos grasos libres (AGL) por debajo de 4% eran rutinariamente alcanzables por este proceso. Entre un cuarto y media tonelada de racimos de fruta fresca por hora puede ser procesado, dependiendo de la capacidad de la cocina.

Los procesos en pequeña escala recién descritos eran convenientes para el proceso de RFF de palmas de aceite silvestres o de pequeños propietarios. El objetivo principal era producir el aceite rojo de palma para la utilización alimenticia tradicional.

El proceso de grandes cantidades de fruta, producida por las plantaciones o por grandes cooperativas de pequeños propietarios, requiere un grado progresivamente mayor de mecanización y de manejo mecánico a medida que la cantidad aumenta. Además, el aceite producido en gran escala, por lo general se considera para consumo alimenticio, por lo que para competir con aceite de otras fuentes debía ser neutro, de sabor suave y color transparente. Para lograr esta calidad, los procesos (incluyendo el manejo de RFF) se diseñaron para reducir al mínimo el desarrollo de ácidos grasos libres y su oxidación.

Un proceso simple para una fábrica de escala intermedia, en el cual el material todavía se manejaba en forma manual en las etapas de proceso, es la planta Pioneer que fue desarrollada por la United Africa Company alrededor de 1939. Estaba diseñada para procesar cerca de tres cuartos de tonelada de fruta por hora, que

es el equivalente a cerca de 1 tonelada de racimos de fruta por hora, seguido del desfrutado de los racimos. El proceso consistía en los siguientes pasos:

- Autoclave - 200 kilogramos de fruta se cargaban en una autoclave vertical por baches montada en un pórtico y eran cocinados bajo presión de vapor de 20 libras por la pulgada cuadrada por 15 minutos.
- Después de cocinarse el fruto se descargaba por gravedad en un digestor con un agitador que lo maceraba y liberaba el aceite de las células.
- La masa resultante se trataba en una centrífuga de cesta, funcionando a 1.200 revoluciones por minuto.
- El aceite que salía de la centrífuga pasaba a través de una malla para retirar fibra y luego a un tanque clarificador.
- El tanque clarificador contenía una capa de agua caliente y el aceite era bombeado dentro por debajo del nivel del agua. El agua hervía por 15 minutos y se dejaba clarificar. La capa de aceite era enviada a un segundo tanque clarificador.
- En este tanque el aceite era calentado al punto de ebullición por 15 minutos y se dejaba clarificar. El aceite limpio se colocaba en tambores.
- El lodo de los dos tanques clarificadores era tratado posteriormente hirviéndolo y clarificándolo, para recuperar aceite residual.

Para mantener costos bajos y alta producción era vital tener una planta operada en forma eléctrica y completamente mecanizada. Las centrifugas fueron substituidas por prensas hidráulicas y estas, a su vez, por prensas continuas de tornillo.

Una planta extractora de aceite con el mismo diseño, con una capacidad de 2 a 3 toneladas de fruta por hora, fue presentada en la exposición de Wembley de 1924 por Nigerian Products Ltd., Liverpool, y fue demostrada en funcionamiento al parecer allí. En 1950 había 13 plantas Pioneer en operación en Nigeria. La cantidad aumentó a 65 en 1953 y más de 200 en 1962, produciendo cerca de 25.000 toneladas de aceite.

La planta Pioneer no pudo resolver las necesidades de las plantaciones comerciales que generaban grandes volúmenes de fruta. Para mantener costos bajos y alta producción era vital tener una planta operada en forma eléctrica y completamente mecanizada. El desarrollo de tales plantas comenzó en Camerún y en Congo antes de la primera guerra mundial. Plantas que usaban las centrifugas para la extracción de aceite estaban en funcionamiento en Congo en 1916, en Sumatra en 1921 y en Malasia en 1925 (Hartley 1988). Las centrifugas fueron substituidas en gran parte

por prensas hidráulicas en los años 30, aunque todavía algunas funcionaban en Batang Berjuntai, Malasia, en 1982. Las prensas hidráulicas alimentadas por baches, a su turno, fueron substituidas por las prensas continuas de tornillo, que ahorraron trabajo y manejaron volúmenes mucho más grandes de fruta. En esta etapa final de la innovación, el desarrollo agrícola y la tecnología de proceso fueron de la mano. La prensa de tornillo tendió a destrozar la fruta de la palma Dura, con su capa relativamente delgada del mesocarpio conteniendo el aceite, pero probada idealmente a la variedad de Ténera.

Los pasos principales involucrados en la producción de aceite de palma son hoy los siguientes:

- Cosecha en la madurez óptima
- Transporte del RFF a una planta de aceite con el mínimo daño
- Transferencia del RFF a las canastas de esterilización
- Esterilización del RFF con vapor bajo presión
- Transferencia del RFF cocinado a un desfrutador
- Transferencia de la fruta a un digestor
- Prensado en una prensa monotornillo o de doble tronillo
- La descarga aceitosa de la prensa, conteniendo agua y residuos de fruta, se pasa a través de tamices y de tanques clarificadores
- La fase del aceite de los tanques clarificadores se pasa a una centrífuga clarificadora. El lodo, o la fase pesada, de los tanques clarificadores se centrifuga y el aceite recuperado se retorna a los tanques clarificadores.



Vista frontal de una caldera

Alguna tecnología usada en las plantas convencionales de extracción de aceite de palma puede ser atribuida a la exhaustiva investigación realizada en Congo en la década de 1950 como se reporta en el informe de Mongana. El estancamiento de la investigación por parte de los países europeos, a pesar del espectacular crecimiento de la industria de la palma de aceite en Malasia desde 1960, no ha estimulado innovaciones en la tecnología usada en plantas de beneficio en el proceso para la extracción de aceite y almendras de palma.

Las plantas extractoras a gran escala, realizando todos los pasos requeridos para producir aceite de palma con estándares internacionales, generalmente manejan de 3 a 60 toneladas de

Los esterilizadores pueden ser horizontales o verticales.



Autoclaves en el proceso de esterilización horizontal

RFF/h. Las instalaciones más grandes tienen sistemas de manejo mecánico (canjilones y transportadores de tornillo sinfín, bombas y tuberías) y operan continuamente, dependiendo de la disponibilidad de RFF. Calderas alimentadas con fibras y cáscaras producen vapor sobrecalentado, usado para generar energía mediante generadores de turbinas. El vapor de baja presión de la turbina es usado para propósitos de calentamiento a lo largo de toda la planta. Muchas de las operaciones de proceso son controladas automáticamente y rutinas de toma de muestras y análisis en el laboratorio de control de proceso aseguran una operación suave y eficiente. Aunque estas grandes plantas requieren capital intensivo, tasas de extracción de 23 - 24% de aceite de palma sobre racimo pueden lograrse con fruto de buena calidad.

En el proceso convencional de extracción de aceite de palma los racimos son cargados en canastas y son introducidos en esterilizadores, donde son cocinados por baches usando vapor a 40 psig. Este proceso detiene el deterioro de calidad debido a la actividad enzimática. Además facilita el desprendimiento de los frutos del racimo y la extracción de aceite y almendra. Se sabe que las operaciones relacionadas con esterilización por baches ocupan la mayoría de la mano de obra en una planta extractora típica.

Mediante el uso de autoclaves horizontales presurizados con vapor de agua el fruto alojado en las vagonetas es sometido a un proceso de esterilización, en donde los principales factores para tener en cuenta en esta etapa son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez de los mismos. El proceso se realiza en dos o tres picos de presión que oscilan entre 20 y 45 psia (1,4 y 3,2 kgf/cm²) previa desaireación del autoclave y descarga de vapor condensado entre pico y pico, para un tiempo total de esterilización entre 70 y 110 minutos. Este vapor es evacuado del autoclave en parte como vapor a la atmósfera y en parte como condensado aceitoso a los canales que conducen a la trampa de grasas. Este primer efluente que contiene aceite, sólidos en diferentes formas, materia orgánica y metales que arrastran de la estructura del esterilizador, entre otros, puede ser hasta el 10% del peso de la fruta procesada y hasta el 15% del total de los efluentes.

El vapor suministrado debe ser saturado con el fin de facilitar la hidrólisis (actúa en los puntos de unión de los frutos al raquis,

causando su desprendimiento) y la mayor transferencia de calor. Con una esterilización satisfactoria la temperatura alcanzada en el fruto es de aproximadamente 120°C y en el centro del pedúnculo 100°C, dependiendo del tamaño de los racimos (para racimos entre 3 y 6 kg, 25 a 30 minutos a presión constante es suficiente, llegando hasta 50 o más minutos para racimos mayores de 20 kg).

Los esterilizadores pueden ser verticales u horizontales. Los primeros resultan convenientes en fábricas de pequeña capacidad y en los cuales los racimos se cargan por la parte superior y se descargan por una compuerta inferior. Los más usados son los horizontales de una o dos puertas, que consisten en un cilindro provisto de un par de rieles internos, sobre los cuales se desplazan las vagonetas o canastas. La capacidad del esterilizador varía según el diámetro y el número de canastas o vagonetas que oscilan entre 0,8 y 5,0 toneladas de capacidad cada una. El número de canastas por esterilizador varía entre 4 y 12.

Por años, la industria palmera ha soñado con un proceso de esterilización continua. El uso de vapor a alta presión y la incorporación de descargas intermitentes de presión alcanzan una buena esterilización, pero de todas formas dificulta lograr un proceso continuo. A pesar de las numerosas investigaciones realizadas en el pasado que han sugerido muchos métodos para la esterilización continua (Reporte Mongana, 1995), ninguno había probado ser técnica y económicamente viable. Recién y debido a la transformación de la tecnología de extracción de aceite de palma se ha alcanzado un nuevo proceso para la esterilización continua, pionero de MPOB.

Durante muchos años, a partir de 1960, la tecnología de extracción de aceite de palma no presentó tantas innovaciones como otras industrias alimenticias. En efecto, la brecha entre las técnicas aun empleadas en el proceso de la palma y otras industrias de alimentos la hace parecer primitiva y obsoleta. No se puede negar que la industria ha hecho mejoras en términos de la capacidad de proceso, sin embargo, existe la necesidad de mejorar la eficiencia y desarrollar un sistema viable para reducir la fuerza laboral. La escasez aguda de mano de obra para el trabajo ha hecho a la industria de aceite de palma en Malasia altamente dependiente de trabajadores inmigrantes.

En Malasia están conscientes de la necesidad de modernizarse, para seguir siendo viables y competitivos a la luz de nuevos desafíos: la regulación ambiental, la escasez de mano de obra y la competencia de otros países productores de aceite de la palma.

Todo lo anterior ha llevado a que aumente la conciencia de la industria de aceite de palma en Malasia de la necesidad de modernizarse, para seguir siendo viable y competitiva a la luz de varios nuevos desafíos, incluyendo regulaciones ambientales más rigurosas, escasez de mano de obra y la competencia de otros países productores de aceite de la palma.

Está ahora en las manos de Malasia e Indonesia, los mayores productores a escala mundial de aceite de palma, promover las innovaciones para mejorar la tecnología y estar a la altura de las otras industrias de alimentos, en especial en las infraestructuras de soporte como las basadas en la informática, las cuales se han desarrollado muy rápido.

Todas las plantas de beneficio, independiente de la edad de sus equipos, aplican el mismo principio físico de extracción del aceite por presión del fruto y realizan el mismo flujo de proceso. Sin embargo en los últimos años se han empezado a desarrollar nuevas tecnologías de punta que han hecho cambiar bastante el aspecto y forma de operar de las plantas. Actualmente se encuentra maquinaria que, si bien cumple las mismas funciones, permite operaciones más eficientes, automáticas y con mayor rentabilidad al reducir costos de operación.



Transportador redler en tolva de recibo

Las secciones donde más se ven estos cambios son el manejo de frutos, la esterilización, la caldera de alta presión, la clarificación y el control de proceso.



Almacenamiento de fibra para su posterior uso como combustible

Manejo de frutos. Se han introducido los transportadores de arrastre (tipo *redler*) por medio de cadenas, que lastiman menos el fruto y hacen más eficiente el movimiento.

Esterilización. Se ha desarrollado el nuevo concepto de la esterilización vertical, que aún no ha demostrado su verdadero aporte tecnológico y la esterilización continua.

Caldera de alta presión. En la parte de calderas y generación de energía, precisamente, uno de los avances más significativos en la industria de la extracción de aceite es la autogeneración de energía. Para ello se aprovechan los altos volúmenes de subproductos como cáscaras, racimos vacíos y fibras que se obtienen del proceso. Estos subproductos alimentan las calderas de alta



Decanter

presión que producen vapor mediante turbinas que accionan un generador eléctrico. Este sistema es capaz de suministrar suficiente vapor y energía eléctrica para los procesos de la planta y aún para el consumo de las áreas administrativas.

Clarificación dinámica. En esta alternativa el licor pasa a la clarificación dinámica, con el tricanter (separador de tres fases) o decanter (separador de dos fases), donde se separan de una vez, aceite, agua con algo de sólidos livianos y la torta de sólidos pesados.

La torta es retirada y puede servir como alimento para animales o para compostaje. El agua es enviada al florentino o al campo como abono e irrigación. El aceite es secado y luego enviado al tanque de almacenamiento. Con esta tecnología se disminuye el área de trabajo y por ende las obras civiles, edificio, tuberías, número de motores de la sección, con su consecuente menor potencia instalada, el número de equipos, el mantenimiento y la cantidad de personal.

Control de proceso. Finalmente, todas las anteriores modificaciones representan una mejora significativa sobre el proceso de extracción de aceite de palma tradicional, pues permiten una operación continua de comienzo a fin y un mayor grado de control del proceso.

Recepción de racimos de frutos frescos (RFF)



Tolva de recepción de fruto

Los RFF deben enviarse a la planta lo más rápido posible. El tiempo que transcurre desde el momento de la cosecha hasta la esterilización de los RFF debe ser menor a 24 horas y en ningún caso mayor a 72 horas. Lo anterior con el fin de atenuar el proceso de desdoblamiento de los componentes del aceite (denominados ésteres glicéridos) en los ácidos grasos correspondientes, por acción de una enzima muy activa llamada lipasa que se encuentra presente en el mesocarpio de los frutos. Los RFF de aceite de palma contienen cerca del 1% de ácidos grasos libres (AGL), y este contenido se incrementa muy rápidamente con el envejecimiento de los frutos.

Los RFF que llegan a las instalaciones de la planta de beneficio, por lo normal son pesados en básculas camioneras y luego los



Sistemas de alimentación en autoclaves

vehículos suben a la plataforma donde son descargados en unas tolvas de almacenamiento. En la plataforma se suele llevar a cabo el control de calidad, según los criterios y procedimientos de la planta extractora.

Estos controles, criterios y procedimientos, hoy son casi los mismos en todas las plantas. Los RFF son luego descargados de las tolvas alimentando las canastas, que en Colombia tienen capacidades desde 1,25 a 5 toneladas. En lo posible se deben montar en la zona de recibo, sistemas para eliminar gran parte de las impurezas (tierra, piedras, piezas metálicas), porque estas causan en los equipos de proceso desgaste y daños.

En las plantas con esterilizadores del tipo vertical y en varias plantas convencionales con esterilizadores horizontales, también se está empleando la descarga directa de las tolvas a transportadores del tipo de arrastre o cadena. Una vez cargadas las vagonetas con los RFF se trasladan sobre rieles a la zona de esterilización.

En la actualidad, existe la posibilidad de utilizar un sistema de cargue y transporte de vagonetas completamente automático, que utiliza transportadores tipo *redler*, *indexers* con sistemas hidráulicos para el movimiento de vagonetas y mesas de transferencia. Este tipo de sistemas ya ha sido probado en plantas con capacidad de 60 toneladas de RFF/h en Malasia.

Esterilización

Esterilización o cocinado presuponen el tratamiento del fruto con vapor húmedo a alta temperatura. La esterilización en las plantas de extracción de aceite de palma es la primera etapa del proceso y posiblemente la más importante, dada su influencia inicial y crucial sobre los frutos de los racimos de palma.

Esta etapa determina la eficiencia y efectividad del proceso aguas abajo de la planta y también en el proceso de refinación para producir un aceite de palma de alto grado. Como ejemplo, un proceso inapropiado que conduzca a altos contenidos de ácidos grasos libres incrementará los costos de blanqueo y deodorización en la refinación.

Propósitos de la esterilización:

- Inactivar la encima lipasa que causa el desdoblamiento del aceite y en consecuencia el incremento de los ácidos grasos libres y la subsecuente pérdida de aceite.
- Acelerar el proceso de ablandamiento de la unión de los frutos y facilitar su separación de los racimos.
- Ablandar los tejidos del mesocarpio para lograr un fácil rompimiento de las celdas que contienen el aceite durante los procesos de digestión y prensado.
- Calentar y deshidratar parcialmente las nueces y almendras para aumentar la eficiencia del rompimiento de las nueces y la posterior recuperación de las almendras.
- Coagular las proteínas que se encuentran en las celdas que contienen el aceite en el fruto de palma e hidrólisis y descomposición del material mucilaginoso (gomas) para evitar soluciones coloidales en el aceite crudo, dificultando luego el proceso de clarificación.



Vagonetas antes de entrar al esterilizador



Mesa de traslación



Volteo de vagonetas esterilizadas

Esterilización convencional

En la actualidad, el proceso de esterilización se lleva a cabo sometiendo los RFF a la acción de vapor de agua en recipientes cilíndricos. Mediante el uso de autoclaves horizontales o verticales en donde los principales factores para tener en cuenta son el tiempo de cocción y la temperatura, dependiendo del tamaño de los racimos y del grado de madurez de los mismos.

Este proceso requiere de vagonetas que transportan el RFF dentro y fuera de los esterilizadores, de varios equipos como grúas o volteadores de canastas, cabrestantes o tractores y de sistemas de transferencia o curvas en los rieles y cambiavías, por lo que requiere de un espacio considerable para el movimiento de vagonetas, carga y descarga de los esterilizadores.

La esterilización de los RFF en el proceso convencional se realiza por baches en autoclaves de 10 a 30 toneladas de RFF por hora. De acuerdo con su capacidad, se colocan entre 7 y 9 vagonetas de RFF en el esterilizador.

Las siguientes son las condiciones de proceso:

Temperatura:	20 - 130 °C
Presión:	2-3 bar
Tiempo total esterilización por bache:	Cerca de 2 horas
Tiempo de sostenimiento:	45 a 60 minutos
Consumo total de vapor:	250kg/t RFF
Pérdida de vapor a la atmósfera:	50kg/ t RFF
Condensados:	Cerca de 200kg/t RFF
Pérdida de aceite:	Cerca de 0,5kg/t RFF

Todos los procesos fundamentales de una planta de beneficio podrían realizarse de manera continua, con excepción de la esterilización, por lo que generalmente este proceso es el cuello de botella de la planta.

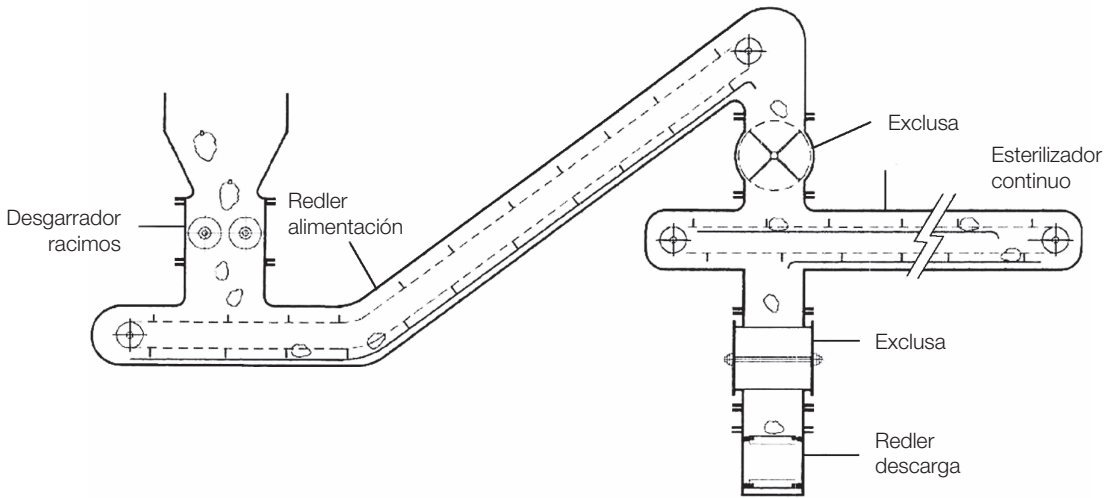
Además, cada lote de RFF, dependiendo de su cantidad y grado de madurez, requiere diferentes condiciones de esterilización, por lo que el uso de vapor de agua a diferentes presiones durante un mismo proceso dificulta el alcance de un esquema continuo.

Esterilización continua

Aunque el nuevo proceso de esterilización continuo se realiza usando vapor a presión atmosférica, se ha demostrado un mejoramiento en la separación de los frutos. Los racimos vacíos tienen tan solo un porcentaje muy pequeño de frutos adheridos. No se encuentran en este proceso la cantidad de frutos en los racimos vacíos que se observan comúnmente con los sistemas de esterilización por baches.

Estudios del MPOB concluyen que realizar primero un proceso de acondicionamiento de los racimos y luego el proceso de esterilización, genera resultados similares a los obtenidos con los métodos convencionales, y no afecta la calidad del aceite ni incrementa significativamente las pérdidas, siempre y cuando los racimos sean esterilizados inmediatamente después.

El tiempo de esterilización y la presión de vapor requerida (atmosférica) es significativamente inferior al usado para el proceso de esterilización convencional.



Esquema del proceso de esterilización continua
Fuente: Sivasothy et al, 2004

En el desarrollo de esta tecnología el concepto de las necesidades de la esterilización se redefine. Percibe a la esterilización como un proceso de cocinar los RFF y desactivar la enzima lipasa y las bacterias. El cocinado de los RFF con vapor promoverá que la hidrólisis tenga lugar en el punto de contacto de los frutos y sus tallos. Esta hidrólisis permitirá que todos los frutos se suelten en un desfrutador de tambor rotatorio. El calor del vapor también detiene el aumento de los AGL del aceite aún en el mesocarpio.

Este nuevo concepto también realiza los procesos de ablandar las células oleíferas y el pretratamiento de las nueces, en una operación complementaria del sistema de esterilización continua, denominada post-calentamiento y debe hacerse inmediatamente después de los pasos de esterilización y desfrutado.

Los principales pasos para la esterilización continua son:



Redler alimentador de fruto en el sistema de esterilización continua

- Acondicionamiento de los RFF, haciéndolos pasar a través de un desgarrador de racimos de doble tornillo. Lo anterior se realiza para facilitar la penetración de vapor en las capas interiores del racimo.
- Se precalientan los RFF alrededor de los 60°C en el transportador de alimentación, totalmente sellado del tipo de cadena o redler, que los conduce a la cámara de esterilización con el fin de desactivar la lipasa, responsable de la formación de ácidos grasos libres. El precalentamiento de los racimos también facilita la desaireación y minimiza la cantidad de aire que entra al esterilizador continuo.



Desgarrador de racimos para esterilización continua



Racimos a la salida del desgarrador de frutos



Sistema precalentador en la esterilización continua



Doble desfrutador en el sistema de esterilización continua

- Calentamiento de los RFF mientras se transportan continua y progresivamente a través de una cámara de esterilización, construida en acero inoxidable, utilizando vapor vivo a presión atmosférica, que se inyecta a través de unas boquillas estratégicamente distribuidas a lo largo de la cámara de esterilización. Para prevenir la pérdida de calor se aísla apropiadamente la longitud completa de la cámara del esterilizador continuo. Al mismo tiempo, se colocan tapas removibles y manholes en la parte superior de la longitud completa de la cámara para facilitar el mantenimiento y los chequeos de rutina.
- El problema de la suciedad y el peligro por los condensados a alta presión de los procesos convencionales, con este nuevo proceso de esterilización continua, está completamente resuelto y eliminado. No hay más evacuación de vapor y condensados bajo presión. En cambio, el fondo de la cámara del esterilizador continuo tiene una serie de drenajes para evacuar continuamente todo el condensado a presión atmosférica a un tanque de recolección, de donde son bombeados al proceso.
- Durante la operación toda la cámara está bajo vapor a presión atmosférica. Los RFF acondicionados y precalentados se alimentan a esta cámara de esterilización continua por medio de una esclusa mecánica de ala flexible que actúa como un sello de vapor. Los RFF se mueven en la longitud completa de la cámara por medio de un transportador del tipo de cadena movido por un motorreductor de alto torque. El tiempo de cocción varía con los tipos de RFF y está entre 60 y 80 minutos. Al final del ciclo de cocinado, los RFF están suficientemente esterilizados y listos para alimentarse al tambor desfrutador rotatorio mediante otra esclusa mecánica de ala flexible.
- Después de que los RFF esterilizados son alimentados a un tambor rotatorio de un desfrutador convencional, los frutos son desalojados del raquis. Debido al diseño del sistema de esterilización continua, los RFF esterilizados son uniforme y continuamente alimentados en el tambor del desfrutador. Los frutos son por completo desalojados de cada racimo que ha pasado por el proceso de desfrutado.
- El recipiente vertical de calefacción en el post-calentamiento y el digestor horizontal son los equipos adicionales requeridos para cocinar más los frutos después del desfrutado.
- Estos equipos se diseñan con la instalación de mezcladores mecánicos e inyección de vapor. El propósito del mezclador es proporcionar el efecto cortante a los frutos lo mismo que

agitarlos y mezclarlos continuamente para maximizar el contacto vapor - frutos. El corte y el sacudir-mezclar los frutos con vapor a baja presión, no solo ablandará su mesocarpio sino que también romperá las membranas celulares que contienen el aceite, liberándolo. Estos equipos se dimensionan correctamente para dar a los frutos el tiempo de la retención adecuado y suficiente para poder lograr un eficiente rompimiento de las membranas celulares que contienen el aceite en el mesocarpio. Además, el vapor a baja presión en estos equipos también ayuda a acondicionar la nuez sin decolorar la almendra, un pre-requisito para un efectivo rompimiento de la nuez y recuperación de la almendra.



Esterilizador continuo

Entre las principales ventajas del proceso de esterilización continua se encuentran:

- No hay recipiente a presión.
- No hay necesidad de usar vagonetas, rieles, grúas, volteador de canastas, carros de transferencia y tractores o cabrestantes.
- El espacio requerido para el proceso de esterilización es mucho menor.
- Permite una operación continua de la planta que se convierte en una realidad el poder automatizar toda la planta.
- Disminuye las necesidades de mano de obra.
- El mantenimiento del esterilizador continuo es mucho más fácil y con un costo mucho más bajo que en el caso de la esterilización convencional.

La esterilización continua, se caracteriza por el acondicionamiento de los RFF, el precalentamiento durante su transporte y el uso de vapor a presión atmosférica.

- El desfrutado es más eficiente porque la alimentación es continua y constante.
- La demanda de vapor es constante, minimizando las fluctuaciones en la presión de vapor y por ende las de voltaje y frecuencia eléctrica.
- La sobrecarga de la caldera, como resultado de las fluctuaciones del proceso por baches, es cosa del pasado y la combustión se realiza de una forma constante eliminando el humo negro en la chimenea y mejorando la eficiencia.
- La pérdida de aceite en condensados es cero. Este se usa como agua de dilución después de la prensa.

La principal ventaja de usar un digestor horizontal es una menor pérdida de aceite en la torta de la prensa, debido probablemente al mejoramiento de drenaje del digestor.

La tasa de extracción de almendra de palma de las plantas de beneficio que usan el proceso de esterilización continua fue inicialmente más baja que en las plantas convencionales. El problema se solucionó con el secado de las nueces por cerca de 15 horas antes de proceder a romperlas.

A pesar de que se la tecnología de la esterilización continua ha sido comercializada de manera exitosa, dado que actualmente se usa en más de 40 plantas en Malasia e Indonesia y una en África, y que se están montando más de 20 en este momento, aún hay campo para algunas mejoras que son objeto de una revisión completa del sistema, en especial en los controles para evitar la sobre alimentación al esterilizador y las grandes dilataciones en el transportador dentro de la cámara de esterilización.

Esterilización vertical

Los esterilizadores verticales se usan hace años en plantas de pequeño tamaño, 6 a 18 t/h. Su gran ventaja era su diseño simple y menor inversión inicial pero, dada su pequeña capacidad comparada con los horizontales, eran apropiados solo para pequeñas plantas. Inicialmente el cargue y descargue se realizaba por la parte superior, lo cual obligaba a voltear todo el esterilizador para la descarga de los RFF esterilizados a la tolva. La nueva tendencia en los esterilizadores verticales para plantas pequeñas incluye un tornillo sinfín en la base para evacuar el fruto, lo que permite tener equipos fijos sin rotación.



Descarga del esterilizador vertical

Se implementaron dos pequeñas tapas o puertas de 900 mm de diámetro, una para recibir el fruto desde un transportador tipo sinfín que alimenta el fruto al esterilizador y la otra para permitir la evacuación en la base por medio de otro tornillo que descarga el fruto a una tolva o directamente a otro transportador que la lleva al desfrutador.

En los últimos años se empezó a utilizar el mismo concepto para grandes esterilizadores verticales con capacidades de hasta de 20 toneladas de RFF, en los cuales se tiene un diámetro entre 3.000 y 5.000 mm y alturas que van desde los 7 m a los 10 m. En algunos casos para evitar el golpe de los RFF al caer, se acostumbra llenar el esterilizador hasta un tercio de su altura con agua, para amortiguar el golpe y una vez se ha llenado el esterilizador con los RFF se completa todo el interior del esterilizador con agua. Esto facilita el desplazamiento de las bolsas de aire atrapadas dentro de los racimos y garantiza que no habrá aire en el cilindro en el momento de iniciar la inyección de vapor. Este proceso hace innecesario el pico para desareación de la esterilización horizontal convencional. Al evacuar todo el aire, la temperatura de cocinado es cercana a la temperatura de saturación del vapor de agua a la correspondiente presión, lo que hace que la esterilización sea mejor y el tiempo se reduzca con los consecuentes ahorros en consumo de vapor.

Con la esterilización vertical se reduce el tiempo y espacio, y se disminuye el consumo de vapor.

Adicionalmente, si el agua que se añade está caliente por encima de 60°C, se inactiva la enzima responsable de la acidificación a medida que caen los racimos, el gran problema es mantener la temperatura a medida que caen RFF fríos en el agua. Al evitarse el primer pico y tener una mejor esterilización por la ausencia de aire, el tiempo de esterilización será menor que el proceso convencional.

En la esterilización vertical la ventaja principal es el costo de inversión de capital más bajo debido a la eliminación de las vagoneas para los RFF, los rieles, carros de transferencia, inclinadores de vagonetas y reducción de espacio y mano de obra. Además, este tipo de esterilizadores tienen una alta eficiencia térmica, el espacio libre es mínimo y el peso del metal al ser calentado con relación al peso de los racimos es muy bajo, mientras que en los esterilizadores horizontales el espacio sin usar es grande y la



Condensados en el sistema de esterilización vertical



Racimos vacíos en un sistema con esterilización vertical

proporción correspondiente del peso del metal con el de los racimos lleva a un mayor consumo de vapor.

El proceso de alimentar directamente el esterilizador vertical por medio de un transportador y de evacuar los RFF esterilizados por el mismo sistema, hace que se disminuya notablemente la cantidad de frutos que caen al suelo.

Otras ventajas de la esterilización vertical son: la reducción en mantenimiento de equipos y elementos comparada con la esterilización convencional; reducción de operarios en el área de esterilización; reducción del aspecto de suciedad en la zona; ahorros significativos en el vapor requerido por tonelada de RFF; reducción del tamaño de la zona de esterilización en área y facilidad de automatización.

Las desventajas de la esterilización vertical son: la pérdida de aceite en los racimos vacíos es en general más alta; los condensados son mayores por el aplastamiento de los RFF y requieren un proceso extra para recuperarlos e introducirlos en el proceso; se requiere cambiar constantemente el agua de llenado, en el caso de usarse, y se debe realizar un proceso para retirar los residuos de tierra y otros contaminantes que salen en el agua y le producen mal olor; los tiempos de llenado y vaciado son largos; hay mucho aceite en el transportador que lleva los RFF esterilizados al desfrutador.

Esterilización en recipientes esféricos

Los recipientes esféricos tienen desde el punto de vista geométrico y de resistencia grandes ventajas sobre recipientes de otra forma geométrica, como los cilindros horizontales o verticales. Con un espesor dado de la lámina de acero tiene la resistencia más alta, tienen el mayor volumen por área superficial, lo que permite ahorros de costos por la cantidad de vapor que se requiere para la esterilización de los RFF así como un área menor en esta sección de la planta.

Los RFF provenientes de la tolva son cargados directamente al esterilizador esférico. Los RFF esterilizados son descargados rotando el esterilizador entero de tal forma que la puerta abierta del esterilizador pivotará sobre este eje (de la tapa) en ángulos entre

120° y 240° para descargar totalmente los RFF esterilizados en una tolva situada bajo el esterilizador. Un regulador controla la alimentación de los RFF esterilizados al transportador que transfiere los racimos al desfrutador. En esta tecnología se eliminan las canastas, tractores, mesas de transferencia, carrileras, cabrestantes, volteador de canastas o grúa, requeridos en el sistema de esterilización horizontal convencional.

El esterilizador esférico, como su nombre lo indica, es un globo de varios diámetros, diseñados para sostener los RFF durante la esterilización. La relación entre la pequeña área superficial y el volumen del esterilizador esférico, lo hace más eficiente energéticamente que los esterilizadores horizontales o verticales. La pérdida de calor es menor que los otros esterilizadores y la subida de la presión del vapor dentro del esterilizador a presión total (3,2 kg/m³) es más rápida.

El goteo de aceite en el piso, de los RFF esterilizados dentro de vagonetas, queda dentro del esterilizador esférico, que ha eliminado esta fuente de pérdida de aceite.

Los RFF son descargados del esterilizador esférico rotando el recipiente completo 180°. Esta descarga toma alrededor de 10 minutos para 20 - 23 toneladas de carga en el esterilizador esférico de 50 m³.

Agua caliente cerca de su punto de ebullición es bombeada al esterilizador esférico al iniciar el ciclo de esterilización, es decir, cuando los RFF están siendo introducidos al esterilizador. El agua reduce el impacto de los RFF dentro del recipiente y remueve el 100% del aire contenido en este y entre los frutos del racimo. Al retirar todo el aire, la temperatura de cocinado es cercana a la temperatura de saturación del vapor de agua a la correspondiente presión. Lo anterior hace que la esterilización sea mejor y el tiempo se reduzca con los consecuentes ahorros en consumo de vapor.

Otras ventajas de la esterilización en recipientes esféricos son: la reducción significativa en mantenimiento de equipos y elementos comparada con la esterilización convencional; reducción de operarios en el área de esterilización; reducción del aspecto de suciedad en la zona; ahorros cercanos al 30% en el vapor requerido por tonelada de RFF.

Las desventajas de la esterilización en recipientes esféricos comparada con la esterilización convencional son: la pérdida de aceite en los racimos vacíos es por lo general más alta que en las vagonetas de 2,5 toneladas de capacidad (cerca del 1,5% sobre base seca). Los condensados son mayores, pero se pueden recuperar en el proceso.

Desfrutación



Redler elevador de fruto a los desfrutadores

En la esterilización convencional las vagonetas con los RFF esterilizados son vaciadas en la tolva del desfrutador de tambor rotatorio, en el caso de plantas con grúas o por medio del volteador de canastas se vacían en una tolva de donde suben los RFF esterilizados al desfrutador por medio de un transportador del tipo de cadena o *redler*.

En la esterilización continua los RFF pueden ser enviados directamente de la cámara del esterilizador continuo al desfrutador por medio de una esclusa o alimentarse, lo mismo que en el caso de la esterilización vertical, por medio de un transportador del tipo de cadena o *redler*. En el desfrutador de tambor rotatorio, solo por medio de un proceso mecánico, se separan los frutos del raquis.



Estación de desfrutamiento

Los racimos de frutos vacíos (RFV) son conducidos por medio de bandas transportadoras y se recolectan para su utilización en este momento muchas veces como fertilizante y elemento retenedor de humedad, aplicado directamente en campo. En las plantas modernas ha desaparecido casi totalmente la incineración de los RFV, debido a la contaminación ambiental y a los nuevos usos de este desecho del proceso.



Banda de tusas

Dada la naturaleza de los RFV y su alto contenido de humedad (50 - 65%), se deben tratar para reducir su volumen y llevar su humedad por debajo de 40%. En la actualidad, en algunas plantas se presan los racimos vacíos en prensas especiales monotornillo para retirar parte del aceite que quedó impregnado y disminuir la humedad. El aceite recuperado puede ser devuelto al proceso. El raquis prensado pasa por una picadora de cuchillas, donde se producen fibras que pueden ser enviadas para compostaje o secadas para ser utilizadas como combustible en las calderas.

Este proceso genera los siguientes residuos:

RFV (residuos sólidos):	200 a 230 kg/t RFF
Contenido de humedad:	150 kg/t RFF
Pérdida de aceite:	4,5 kg/t RFF
Vapor de agua:	30 kg/t RFF
Residuos líquidos:	Ninguno

Extracción

Los frutos separados se descargan en unos recipientes verticales con chaqueta de vapor (digestores). Aquí los frutos son tratados mecánicamente para convertirlos en una masa aceitosa homogénea. Para facilitar la homogenización se añade agua caliente al digestor. Esta pasta es subsecuentemente alimentada a la prensa de extracción de aceite. Las condiciones de proceso son:

Consumo de vapor:	40-50kg/t RFF
Consumo de agua caliente:	65 kg/t RFF
Vapor de agua:	30 kg/t RFF
Residuos sólidos/líquidos:	Ninguno



Izquierda. Sistema de prensado con digestores horizontales



Derecha. Sistema de prensado con digestores verticales

La extracción del aceite de palma se realiza por medio de una prensa continua con sistema de tornillos. La fase aceitosa extraída se recoge y se descarga en la sección de purificación. La torta remanente de la prensa es transportada a un sistema de separación consistente en clasificación por aire y ciclones (depericarpado o separador de fibras) para recuperar las nueces y las fibras. Estas son secadas durante este proceso de separación por

medio de aire caliente, el cual es calentado indirectamente por vapor a una temperatura de 135°C. Las almendras se recuperan de las nueces en rompedores centrífugos y son vendidas normalmente a las plantas de extracción de aceite de palmiste. Las fibras y las cáscaras son conducidas a la caldera y usadas como combustible. La prensa de tornillos produce aceite crudo primario que contiene una gran concentración de materia suspendida, resultando con dificultades en la separación agua - aceite y una alta carga orgánica en el agua de desecho descargada desde la planta de aceite de palma. Los productos y residuos de estos pasos del proceso son:

Aceite crudo primario (mezcla de aceite, aguas y fibras):	400 kg/t RFF
Contenido aceite:	200 kg/t RFF
Contenido lodos pesados:	200 kg/t RFF
Residuos sólidos totales (mezcla de fibras o nueces):	320 kg/t RFF
Almendras (incluye 30 kg /ton RFF):	60 kg/t RFF
Cáscaras:	60 kg/t RFF
Fibras (el resto):	145 kg/t RFF
Humedad perdida durante la separación de fibras:	55 kg/t RFF
Residuos sólidos/líquidos:	Ninguno

Clarificación

Para mejorar los siguientes pasos de separación del aceite se añade agua caliente al aceite crudo y luego se pasan por un tamiz vibratorio para separar los sólidos de gran tamaño como mugre, fibras y fragmentos de pericarpios de la fase líquida. El aceite, después del tamizado, aún contiene sólidos de pequeño tamaño y agua. La gran superficie de este tipo de tamices resulta en un contacto intensivo del aceite con el aire que tiene un efecto negativo en la calidad del aceite debido a la oxidación del mismo. Los productos y residuos de este paso del proceso de tamizado son:

Aceite crudo primario:	400 kg/t RFF
Residuos sólidos:	14 kg/t RFF*
Residuos líquidos:	Ninguno

* Dependiendo de la eficiencia del tamiz, los sólidos son transferidos de retorno directamente a la prensa.

La clarificación ha sido una de las áreas más estudiadas en el proceso de extracción de aceite de palma. Puede hacerse mediante una separación estática en tanques circulares verticales con o sin agitación, en tanques cuadrangulares horizontales o también puede hacerse por una separación dinámica de fases por diferencia de densidades, tales como centrífugas o *decanters*.

Otras alternativas estudiadas han sido la separación por medio de campos magnéticos. El aceite clarificado pasa a los tanques sedimentadores donde las partículas pesadas se van decantando por reposo, así se separa de la mezcla lodosa restante que pasa a las centrífugas deslodadoras.

Clarificación estática

El procedimiento convencional para la separación del aceite del agua y los sólidos suspendidos es el método del tanque de clarificación.

El aceite crudo es calentado tanto por introducción de vapor vivo como por serpentines cerrados de calentamiento con vapor que facilitan la separación por gravedad. En el clarificador de aceite, al cabo de 4 a 6 horas de proceso, se forman tres capas visibles diferentes: una superior de aceite de palma rojo con un bajo contenido de humedad, una intermedia en la cual hay aceite, agua y materia orgánica (lodos) en proporciones similares y, por último, una inferior con lodos más pesados. Este procedimiento, sin embargo, tiene solo una eficiencia de separación cercana al 50%, dependiendo de la tasa de carga en la superficie y el tiempo de retención aplicados en el clarificador. Como resultado, el aceite separado contiene una alta concentración de

Izquierda. Clarificador horizontal

Derecha. Clarificador vertical



sólidos suspendidos y el residuo de la clarificación (lodo del fondo del tanque) contiene un alto contenido de aceite. Tiempos de retención largos, combinados con altas temperaturas, también reducen la calidad del aceite.

El aceite separado que flota en la parte superior del clarificador es recogido por un sistema de embudo y enviado al sistema de purificación. La descarga de lodos del clarificador es recogida en un tanque de lodos y tratada posteriormente para la recuperación del aceite, por lo general, por centrifugación. Los productos y residuos del paso del proceso en el clarificador son:

Consumo de agua caliente:	220 kg/t RFF
Aceite crudo primario:	120 kg/t RFF
Residuos líquidos acuosos (descarga inferior):	500 kg/t RFF
Temperatura de proceso:	≥95°
Tiempo de retención:	1 a 5 horas

El aceite crudo del clarificador (aceite superior) se combina con el aceite recuperado del tratamiento de la descarga del mismo. Esto resulta en una producción de aceite crudo alrededor de 163 kg por tonelada de RFF procesada. Dado el bajo contenido de sólidos suspendidos en el aceite crudo, esta etapa del proceso no genera grandes volúmenes de residuos sólidos y por tanto tiene un impacto bajo sobre el medio ambiente.

Los residuos de esta etapa del proceso de producción son despreciables.

El aceite recuperado contiene aún algo de agua, que es removida en el sistema de evaporación por vacío. Posteriormente, el aceite crudo seco es almacenado en tanques de almacenamiento y enviado a la refinería. Esta etapa del proceso, secado del aceite crudo, tiene un impacto ambiental muy bajo. Los productos y residuos del paso de secado (estimados) son:

Consumo de vapor (vapor indirecto):	Cerca de 10 kg/t RFF
Consumo de agua de enfriamiento:	300 kg/t RFF
Aceite crudo puro:	115 g/t RFF
Temperatura de proceso:	95°C



Vista del fenómeno que ocurre al interior de un clarificador (Foto Cenipalma)

Temperatura final del aceite:	40°C
Agua de enfriamiento (efluentes):	300 kg/t RFF
Temperatura agua enfriamiento:	80°C
Vapores (del secado):	10 kg/t RFF

El lodo de la descarga del clarificador se caracteriza por un alto contenido de aceite (alrededor de 14%), alta concentración de sustancias orgánicas (tanto en forma de sólidos disueltos como suspendidos) y sustancias solubles en agua. Adicionalmente, la fase acuosa contiene fibras finas y arena. Con el fin de recuperar el aceite y disminuir la carga orgánica del líquido residual, el lodo de la descarga del clarificador se trata como se describe a continuación. Con el fin de proteger los equipos en los pasos posteriores del proceso (en particular las centrifugas) de taponamiento, el lodo del fondo es prelimpiado por medio de hidrociclones/microfiltros. Estos desarenadores en general son limpiados descargando los sólidos acumulados al drenaje, seguido de una inyección de agua fresca. El consumo de agua de limpieza en el desarenador es normalmente cerca de 5 litros por tonelada de RFF. Este paso del proceso resulta en residuos sólidos:

Residuos del microfiltro:	Despreciables
Mezcla agua/arena:	10 kg/t RFF
Consumo agua de lavado:	5 kg/t RFF

El lodo de fondo del clarificador prelimpiado es recogido en el tanque *buffer* (tanque de lodos) y luego bombeado a las centrifugas de dos fases (separadores) para la recuperación del aceite. Es una práctica común, para mejorar la separación del aceite, añadir agua al lodo de fondo para alcanzar una eficiencia de separación, que por lo normal es alrededor de 92%. El consumo de agua es de 200 kg/t RFF procesado. Este incluye el agua de lavado del equipo de limpieza. Los productos y residuos del paso de centrifugado son:

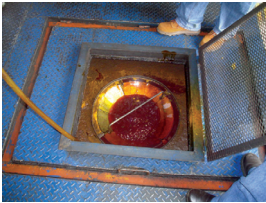
Recuperación de aceite crudo:	78 kg/t RFF
Residuo líquido:	600-700 kg/t RFF
Pérdida aceite:	5-6kg/t RFF
Residuo sólido:	Ninguno

Las desventajas de la clarificación estática, en donde la separación tiene lugar en depósitos grandes por gravedad, son: alto consumo de energía; alto consumo de agua y alta producción de aguas residuales, hasta 1.600 litros por tonelada de materia prima; poca automatización, difícil para controlar; largo tiempo de proceso de materia prima hasta aceite final.

Para mejorar la producción total de aceite en el proceso, algunas extractoras pasaron del procedimiento del clarificador a un sistema de clarificación más eficiente, usando una centrífuga de tres fases (*tricanter*). Este equipo, sin embargo, no es parte del proceso húmedo estándar.

Preclarificadores

Una innovación desarrollada en su totalidad en Colombia ha sido el uso de equipos conocidos como pre-clarificadores, dentro de los cuales se pretende recuperar la mayor cantidad de aceite mediante decantación en un tiempo aproximado de 30 minutos. El principio de operación de estos equipos se basa en el hecho de que la separación del aceite se realiza en gran medida en los primeros 10 minutos del proceso de decantación. Adicionalmente, algunos estudios establecen que la relación aceite/agua que debe ser mantenida para maximizar la recuperación de aceite en un corto tiempo. El valor óptimo encontrado fue de 1 litro de agua por 1,4 litros de aceite en el licor de prensas. (Arrieta et al, 2007; Díaz et al, 2005).



Recuperación de aceite en un preclarificador



Preclarificador y tanques auxiliares

Clarificación dinámica

La separación por medio de decanters es llevada a cabo de forma más rápida y eficiente que usando la sedimentación por gravedad.

Desde la antigüedad el hombre ha utilizado la separación mecánica para la clarificación del vino, el desnatado de la leche y la elaboración de aceites vegetales como el aceite de palma. La principal característica de este método simple es la separación mediante sedimentación por gravedad. Si se usan centrífugas, la gravedad es sustituida por la fuerza centrífuga. En las centrífugas actuales se genera una fuerza centrífuga de hasta diez mil veces la fuerza de gravedad. La separación por medio de *decanters* es llevada a cabo de forma más rápida y eficiente que usando la sedimentación por gravedad. En muchos procesos, la separación mecánica es responsable de la calidad de los productos finales, eficiencia de la producción y compatibilidad con el medio ambiente.



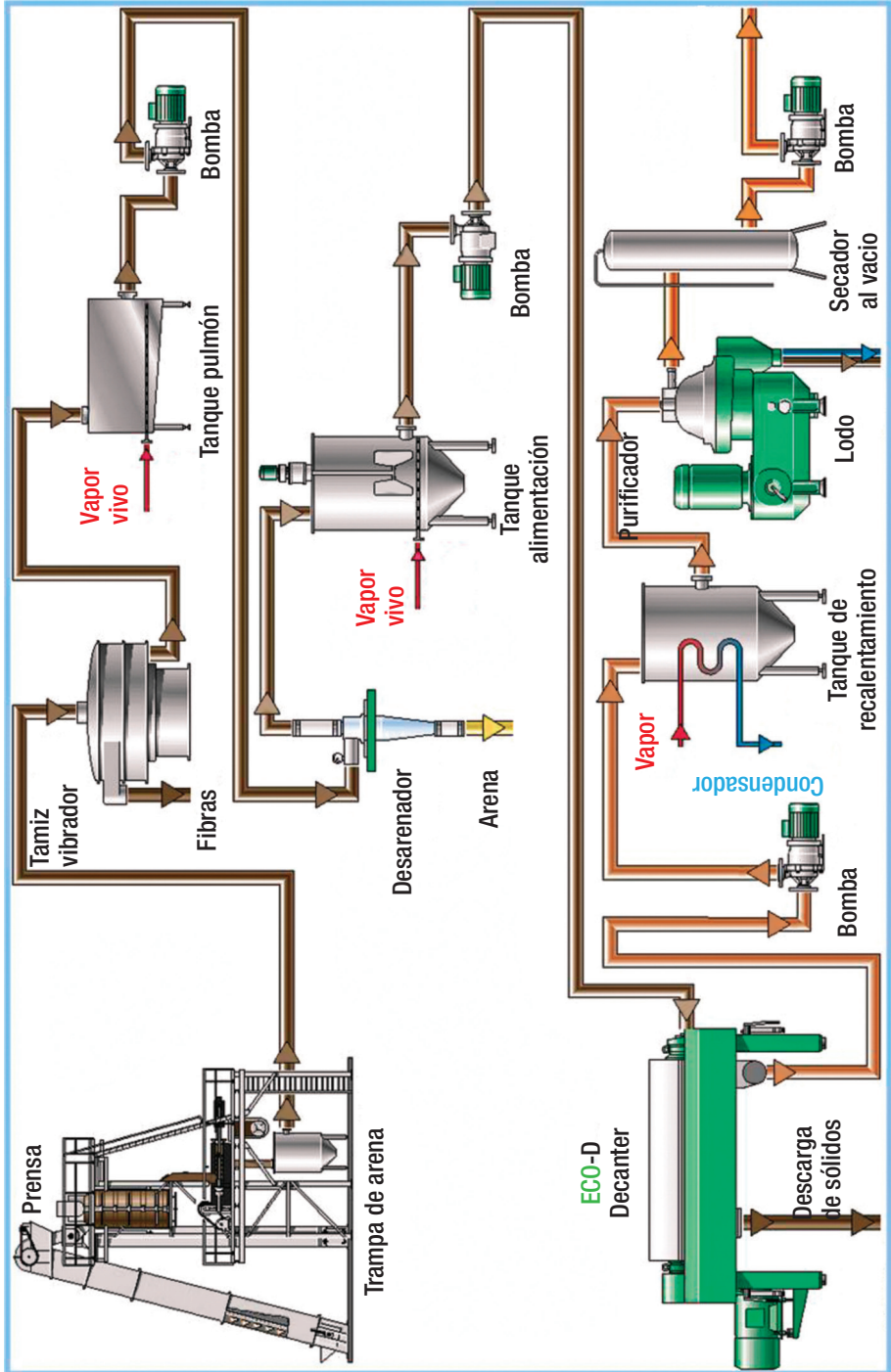
Tricanter

El licor de prensa proveniente del tamiz circular o de un sistema de preclarificación, es calentado, pasa por el hidrociclón desarenador y llega a un tanque pulmón de poco volumen. De allí pasa directamente al *decanter* donde se separan dos fases o al *tricanter* donde se separan tres fases. La razón del tanque pulmón es solo darle cabeza al equipo y hacer más homogénea la alimentación.

El aceite separado es enviado directamente al secador al vacío. El agua aceitosa va a las lagunas de oxidación y los sólidos semi secos se pueden despachar para alimentación de animales o compostaje.

El menor tiempo de residencia en el nuevo sistema de clarificación y por ende el menor tiempo de proceso tiene también un beneficio

Esquema del proceso de clarificación dinámica



Fuente: MPOB



Aceite de palma crudo

**La clarificación
dinámica hace la
separación de
agua - aceite - lodo
por medio de
fuerza centrífuga
a gran velocidad.**

en la calidad del aceite. El tiempo de retención en el *decanter* es de segundos, comparado con las cinco horas en el clarificador.

Los *decanter* de dos fases han sido utilizados en plantas de extracción haciendo el mismo rol de las centrífugas deslodadoras, tratando la salida del tanque clarificador y conduciendo a menores contenidos de aceite en la torta. No hay reducción significativa en la cantidad de POME (efluente de las plantas extractoras) en este caso. Últimamente se han probado también *decanter*s de dos fases que hacen posible la separación aceite – lodo usando un proceso de clarificación con cero dilución.

El uso de *decanter*s de tres fases, hace posible la clarificación del aceite y la separación de lo sólidos suspendidos simultáneamente. Si el licor de prensa es usado como alimentación del *tricanter*, es posible reemplazar tanto el tanque clarificador como los de lodos y las centrífugas. No solo hay una disminución significativa en la cantidad de agua requerida para facilitar la clarificación, sino que también simplifica el proceso en gran forma.

La parte esencial de un *decanter* / *tricanter* es el rotor, el cual consiste en un tambor cilíndrico –cónico, con tornillo sinfín transportador incorporado, que gira con una velocidad diferencial. El producto entra al rotor por un tubo de alimentación central. Gracias a las boquillas de salida (toberas) situadas en el cuerpo del sinfín, el producto pasa al tambor, dónde tiene lugar la separación por fuerza centrífuga. En el *decanter* el producto se separa en una fase líquida (aceite) y una fase sólida. En el *tricanter* el producto se separará en una fase líquida ligera (aceite), una fase líquida pesada (agua aceitosa) y la fase sólida (torta). En ambos casos la descarga del aceite se realiza por gravedad. Sin embargo, en el *tricanter* la fase acuosa se descarga mediante una palanca excéntrica con presión o por gravedad. Finalmente, el tornillo sinfín transporta los sólidos a la parte cónica para su descarga.

Por otra parte, estudios han mostrado que el aceite resultante tiene una pureza superior al 99,5% y que las pérdidas de aceite en el nuevo sistema de clarificación son menores que en el sistema convencional. Adicionalmente, el espacio requerido en la planta para el área de clarificación se reduce de manera notable. El costo de inversión inicial del sistema de clarificación dinámica es mayor que el sistema de clarificación estático o convencional,

pero parte de este será compensado con la menor cantidad de equipos, la disminución de bombas, motores y carga eléctrica y en el largo plazo el costo será menor dado que los consumos de agua y vapor, los costos de mantenimiento, operación y energía serán bastante menores.

La clarificación dinámica puede ser automatizada fácilmente y por lo tanto reducirá los requerimientos de personal en el área.

Una aproximación para hacer las plantas extractoras de aceite de palma más amigables con el medio ambiente es la modificación del proceso usando los dos anteriores tipos de *decanters* de dos y tres fases separando aceite y lodos o aceite, lodos semi sólidos y aguas aceitosas y utilizando pre-clarificadores. La cantidad de POME se puede reducir a 0,4 toneladas por tonelada de RFF procesada en la planta extractora y se puede tratar con sistemas que antes se consideraban inviables tanto técnica como económicamente.

Se espera que la cantidad de lodos descargados en una planta extractora usando esterilización continua y clarificación dinámica se reduzca aún más y podamos pasar de 0,6 a 0,25 toneladas, por tonelada de RFF procesado, en la planta extractora convencional.

El factor más importante y determinante de la velocidad de clarificación es el tamaño de la gota de aceite.

Las ventajas de la clarificación dinámica, en donde la separación tiene lugar en un equipo por medio de fuerza centrífuga a gran velocidad, son: no necesita agua de dilución, produce menor cantidad de aguas residuales, tiene un alto rendimiento, poca pérdida de aceite en el lodo, más fácil mantenimiento y limpieza, proceso simple y corto, significativo ahorro de consumo de agua, diseño compacto, proceso automatizado, operación económica (vapor y electricidad) y alto rendimiento (aceite con pureza > 99,5 %).

Clarificación con campos eléctricos de alta intensidad

Durante los últimos años se han realizado varios ensayos de tecnologías buscando posibilidades para mejorar el proceso de clarificación del aceite de palma. Una de estas es el empleo de campos eléctricos de alta intensidad. Esta nueva técnica busca reducir el tiempo de proceso y las pérdidas de aceite de palma emulsionado en la corriente de agua y lodos. Se han preparado

emulsiones de diferentes concentraciones de licor de prensa y se sometieron a varios campos eléctricos por tiempos diferentes.

De acuerdo con la teoría, el factor más importante y determinante de la velocidad de clarificación es el tamaño de la gota de aceite. Entre más grande sea esta se logra una separación más rápida y es poco el aceite que permanece en la fase acuosa. Si las gotas son pequeñas, se forma una emulsión de la mezcla agua y aceite, lo que implica un tiempo muy alto para permitir que las pequeñas gotas de aceite se separen. En el proceso convencional con los clarificadores el tiempo de residencia no permite recuperar estas gotas pequeñas y se quedan en la fase emulsionada. Con los campos eléctricos de alta intensidad, se pretende que las gotas pequeñas dispersas, presentes en la emulsión, que adquieren una carga eléctrica negativa mientras el agua que rodea la gota adquiere una carga positiva, por medio del campo eléctrico de alta intensidad se orienten hacia la placas y choquen por este movimiento y se unan unas con otras (sufran coalescencia), y alcancen el suficiente tamaño para que viajen en un menor tiempo a la parte superior del equipo. Esta técnica que teóricamente y en los primeros ensayos parece ser una buena alternativa para mejorar la recuperación del aceite emulsionado presente en efluentes del proceso de extracción, no ha sido aún probada de manera industrial.

Desfibración y palmistería



Vista general del sistema de recuperación de almendra



Nueces húmedas



Separador neumático de mezcla triturada cuesco - almendra



Silo de secado de almendra



Secador de almendra horizontal

A la salida de la prensa en el proceso de extracción obtenemos el licor de prensa que pasó al proceso de clarificación y la torta compuesta por una mezcla de nueces y fibras aceitosas y secas. La torta es desmenuzada y secada parcialmente a medida que se conduce por el transportador secador hacia la columna de separación, por medio de la agitación con las paletas de este, que a su vez separa las nueces de las fibras. La separación final se realiza con un proceso neumático, en el desfibrador, donde se usa una columna vertical hueca, por medio de la cual pasa un flujo de aire ascendente, al cual se le puede ajustar la velocidad y hace que toda la fibra, por ser más liviana, suba y las nueces caigan al fondo de la columna de separación.

Las nueces separadas en dicha columna pasan al tambor pulidor para separarlas de fibras aun adheridas, por medio de fricción. De este pulidor las nueces van al silo de almacenamiento, donde se secan de 25% de humedad a 8 - 10%, para facilitar el rompimiento de la cáscara y poder recuperar la almendra contenida en ellas. Las nueces ya secas salen del silo de almacenamiento y se alimentan a un tambor clasificador provisto de láminas perforadas en donde se realiza su clasificación por tamaños. Cada lote, según su tamaño, es enviado a los rompedores de nueces, hoy casi todos del tipo de mordazas (*ripple mill*), donde se rompen las nueces y se forma una mezcla de almendras, cáscaras y finos.

Mediante un proceso de separación neumática en una columna doble se separan las almendras de las cáscaras y los finos y de la interfase, constituida por almendras pequeñas, nueces pequeñas no rotas y pedazos de cáscaras de mayor tamaño. Esta última, que es una descarga intermedia, se envía a los hidrociclones y/o baños de arcilla donde se separan las almendras de las cáscaras por diferencia de gravedad específica. Las almendras que salieron por el fondo de la columna, sumadas a las que vienen del hidrociclón, están húmedas, por lo que son más susceptibles de volverse mohosas y de aumentar rápidamente los ácidos grasos libres, por esta razón deben secarse antes de su almacenamiento. Las almendras pasan entonces a los silos de secado y de allí al empaque o transporte a granel, para ser enviada a una planta de extracción de aceite de palmito.

La cáscara o cuesco se puede usar como combustible en las calderas o venderse para usos diversos. Otro método de separación

La fibra recogida en la separación sirve como combustible de las calderas y como abono natural en las plantaciones.

de cáscaras y almendras, que se está empezando a utilizar, usa aire en un separador cerrado ajustable. El principio de este separador se basa en el uso de aire recirculado en un circuito cerrado para separar la mezcla de materiales de diferentes densidades de masa. El material más liviano es llevado por el flujo de aire a la salida de la fase liviana mientras que el material pesado cae con la corriente descendente y es descargado en la salida de fase pesada. Para separar las cáscaras de las almendras, se recomienda una operación de dos pasos. En la primera fase, los finos y las cáscaras más livianas son separados y, en la segunda, las almendras completas, las almendras rotas y las cáscaras más pesadas son separadas.

La fibra recogida en la columna de separación por la parte de arriba de esta, sirve como combustible de las calderas y como abono natural en las plantaciones.

Los productos y residuos de este paso del proceso son:

Almendras:	400 kg/t RFF
Cáscaras y finos:	400 kg/t RFF

Los residuos de esta etapa del proceso de producción son despreciables.



Capítulo 4

Servicios industriales

Captación y tratamiento de aguas

Un sistema de agua de alimentación está conformado por el conjunto de accesorios que toman parte en el proceso de inyección de agua a la caldera. Debe estar compuesto por un desaireador (en algunos casos), bombas de alimentación y tubería complementaria.

El agua de alimentación puede estar conformada por el agua de condensado y el agua de reposición, la mezcla de estas dos arroja una tercera con características completamente diferentes, siendo la que realmente interesa, y es a esta a la que se le debe diseñar un programa de tratamiento que estará determinado por las características de la caldera en la que finalmente será utilizada.

Todas las aguas de alimentación se encuentran contaminadas en mayor o menor grado, lo que ocasiona dificultades en las calderas para la producción del vapor. Estas impurezas son la causa de problemas de diferente índole y gravedad que traen como resultado muy frecuente la pérdida no solo de tiempo sino de la caldera misma. La gravedad de tales efectos será proporcional al tipo de caldera en uso, a su presión y capacidad.

Es posible que ciertas condiciones de impurezas puedan ser toleradas por cierto tipo de calderas. Es así como en las calderas pirotubulares, en virtud de ser más fácil su limpieza, tener menor necesidad de circulación, de temperatura de agua y de tasa de vaporización por unidad de superficie calentada, pueden tolerar ligeros depósitos, turbidez, lodosidad y altas concentraciones.

En las calderas acuotubulares, por las razones contrarias, es indispensable que el agua de alimentación posea un alto grado de pureza para prevenir problemas posteriores. En las calderas combinadas se debe tener más presente todos estos factores. Esta es la razón para que sea necesario e importante en una caldera contar con el tratamiento químico acorde con los requerimientos, la calidad del agua disponible, el tipo de caldera que se utiliza, la presión de trabajo y el uso que se haga del vapor producido.



Sistema de tratamiento de agua para proceso y calderas

Los problemas específicos ocasionados en las calderas por las aguas de alimentación son las siguientes:

Incrustaciones. Son formaciones de sólidos cristalinos dentro de las calderas. Teniendo en cuenta las condiciones de trabajo, la razón principal de su formación es que la solubilidad de las sales incrustantes es inversamente proporcional a la temperatura del agua en las que están disueltas, donde se ubican los carbonatos de calcio y de magnesio. La segunda razón es que se sobrepasan los límites de solubilidad de ciertas sales por el aumento en las concentraciones de las calderas, se ubican los cloruros, sulfatos, silicatos de calcio y magnesio que, disociados en el agua al alcanzar su límite de solubilidad, se vuelven a asociar en moléculas en su fase sólida.

La gravedad de los problemas causados por las incrustaciones radica en su poder aislante, trayendo como consecuencia la disminución de la eficiencia de la transmisión de calor en una superficie de vaporización que se encuentre con incrustaciones.

Lodos. Las incrustaciones se generan por causa de la producción de vapor sobre las superficies de vaporización. Sin embargo, también hay vaporizaciones del líquido y, en este momento, las precipitaciones tomarán aspecto de lodos que se depositarán sobre la superficie. Al deshidratarse se comporta de igual manera que las incrustaciones. Los sólidos suspendidos van aumentando su tamaño por efecto de la vaporización misma, produciendo el taponamiento de los tubos vaporizadores en las calderas.

Corrosión. Es uno de los procesos más preocupantes por los graves daños que producen y por las innumerables causas que lo propician. Es una destrucción del metal por efecto de la acción química o electroquímica del medio que la rodea.

Sales corrosivas. Estas pierden su poder en el agua de calderas si se mantiene alcalina, con excepción en calderas de muy alta presión. Es conveniente mantener el pH mínimo en 10,5 para evitar el ataque ácido.

Entre las sales que se hidrolizan en la caldera formando ácidos están el hidróxido de magnesio que por su insolubilidad se precipita, el cloruro de magnesio que se convierte en fuente activa de corrosión, el cloruro de sodio en presencia del sulfato de magnesio.

Control de propiedades en el agua de alimentación para calderas

Las propiedades más importantes para analizar en el agua de alimentación de una caldera son pH, alcalinidad, sílice, dureza, hierro, fosfatos, sulfitos y sólidos totales. Todas estas propiedades hay que controlarlas bajo unos parámetros establecidos por las empresas constructoras de calderas, para evitar el daño de sus componentes. A continuación se define cada una.

Alcalinidad. Compuestos neutralizantes de ácidos presentes en el agua, por lo general, en aguas naturales. Esta dada por la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos.

El agua de alimentación para la caldera debe contar con un programa de tratamiento determinado por las características de la misma.

Dureza. Concentración de sales de calcio y magnesio en el agua, constituida por iones metálicos de calcio, magnesio y estroncio.

Hierro. Metal muy abundante en la corteza terrestre, de color negro lustroso o gris azulado, dúctil, maleable y muy tenaz, se oxida al contacto con el aire y tiene propiedades ferromagnéticas. Se encuentra en la hematites, la magnetita y la limonita.

Oxígeno disuelto. Es cuando permanece en forma molecular en el agua, sin reaccionar con esta. De él depende en gran parte la velocidad y eficiencia de los procesos de autopurificación.

pH. Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución. El pH de una disolución puede medirse mediante una valoración, que consiste en la neutralización del ácido (o base) con una cantidad determinada de base (o ácido) de concentración conocida, en presencia de un indicador (un compuesto cuyo color varía con el pH).

Sílice. Mineral formado por silicio y oxígeno. Si es anhidro, forma el cuarzo y, si está hidratado, el ópalo.

Sólidos totales. Estas sustancias en las aguas naturales son en general de origen orgánico o de sales minerales, y son compuestos del ácido húmico contenido por el terreno. La sílice se encuentra en el agua de solución, pero si su cantidad es elevada puede precipitarse en forma de gel que queda en suspensión. Los principales elementos inorgánicos presentes son: aniones-bicarbonatos, sulfitos y cloruros, cationes-calcio, magnesio y sodio.

Tratamiento de agua para calderas

Una vez el agua cruda es captada de la bocatoma del río o un pozo profundo, esta debe ser sometida a un proceso de tratamiento para adecuar sus características, por debajo de los límites de operación de las calderas. Los diferentes procesos a los que el agua es sometida según su procedencia se describen a continuación.

Floculación. El proceso de floculación es la aglutinación de materia en suspensión coloidal y finamente dividida después de la



*Filtros y suavizadores
de un sistema de
tratamiento de aguas*

coagulación producida mediante agitación suave por medios mecánicos o hidráulicos. Esta ocurre inmediatamente después de añadir un coagulante al agua, estas sustancias se absorben rápidamente en la superficie de las partículas hidrófobas causantes de la turbiedad, que acaban “revestidas de coagulante”.

El resultado neto es que las cargas eléctricas de las partículas se reducen; entonces según el pH y las dosis de coagulante añadidas, la carga de la partícula puede oscilar entre ser ligeramente negativo a neutro. En este momento el proceso de floculación está a punto de iniciarse. La iniciación de los flóculos se debe a un mecanismo de adsorción, caracterizado por la adsorción de una cadena de polímero en la superficie de una partícula y posteriormente en la superficie de otras partículas agregándolas, se denomina mecanismo de floculación por creación de puentes.

La mezcla y la agitación favorecen las colisiones entre las partículas desestabilizadas que producen de esta forma uniones perdurables. Por otra parte, los propios coagulantes aún en ausencia de turbiedad, se hidrolizan y precipitan para formar masas cada vez mayores de material floculante. Cuando este flóculo ha alcanzado tamaño suficiente, puede aprisionar físicamente a las partículas de turbiedad, comportándose como una “escoba” a medida que sedimenta.

Sedimentación. Este proceso consiste en sedimentar por gravedad los flóculos que han sido formados previamente. Por los flujos hidráulicos de diseño de la planta se obtiene una remoción controlada y efectiva del material sedimentado.

El aporte de oxígeno puede tener un efecto en la mejora de la calidad del agua al contribuir a la oxidación de la materia orgánica.

Filtración. El tratamiento de filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. Las fuerzas que mantienen a las partículas removidas de la suspensión, adheridas a las superficies de los granos del medio filtrante, son activas para distancias relativamente pequeñas.

Es usual que la filtración sea considerada como el resultado de dos mecanismos distintos pero complementarios: transporte y adherencia. Inicialmente, las partículas por remover son transportadas de la suspensión a la superficie de los granos del medio filtrante. Ellas permanecen adheridas a los granos, siempre que resistan la acción de las fuerzas de cizallamiento debidas a las condiciones hidrodinámicas del escurrimiento.

La adherencia entre las partículas transportadas y los granos está regida, principalmente, por las características de las superficies de las partículas suspendidas y de los granos. Las partículas se pueden adherir directamente tanto a la superficie de los granos como a partículas previamente retenidas.

Oxidación con inyección de aire. Es el proceso que se usa con el fin de impedir la aparición de condiciones anaerobias y por consiguiente la generación de sulfuro en las aguas residuales, evitando los indeseable problemas de corrosión asociados al mismo, olor desagradable y elevada toxicidad en el ambiente. El aporte de oxígeno puede tener un efecto en la mejora de la calidad del agua al contribuir a la oxidación de la materia orgánica.

Inyección de productos químicos. Los parámetros como pH, dureza, alcalinidad, oxígeno, hierro, sílice y sólidos totales son los más importantes para controlar en el agua de alimentación a las calderas. El ajuste del pH se realiza por inyección de un producto químico (soda cáustica), con una dosificación que se determina experimentalmente por revisión del pH en el agua de purgas. Este parámetro debe estar entre 10,5 y 11,5, según recomendaciones hechas por empresas especializadas en tratamientos de agua.

La dureza y la sílice excesiva en el agua son los causantes de incrustaciones en los tubos de las calderas. Sin embargo, la ausencia total de salinidad tampoco es conveniente, pues impide la formación de una delgada capa protectora que evita la corrosión

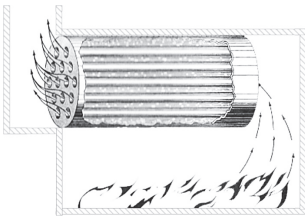
de su efecto, se controla por medio de un producto con base a polifosfatos orgánicos (acondicionador de dureza y sílice).

El oxígeno es el causante de la corrosión en la tubería de la caldera, generalmente se elimina su efecto con la aplicación de un producto con base en hiposulfitos (secuestrante de oxígeno), este trabaja en forma adecuada a elevadas temperaturas, alrededor de los 80°C.

Los sólidos totales se depositan en el interior de la caldera y son los causantes de incrustaciones de películas de 7 a 10 mm de espesor, evitando la transferencia de calor hacia el agua para originar la evaporación, provocando reducción en la eficiencia térmica de caldera.

Generación de vapor

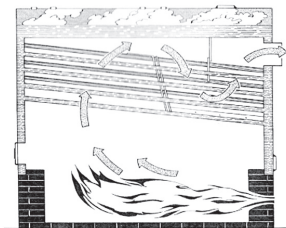
El vapor saturado es parte imprescindible del proceso de extracción, puesto que es utilizado para suplir la demanda de energía térmica de cada una de las etapas del mismo.



Esquema de una caldera pirotubular

Dada la disponibilidad de biomasa en las plantas extractoras, calderas acuotubulares y pirotubulares han sido utilizadas tradicionalmente con este combustible en la industria de extracción de aceite de palma para evitar el consumo de combustibles fósiles y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En las calderas pirotubulares los gases de combustión son conducidos por tubos sumergidos en agua para generar el vapor. Este tipo de calderas permiten trabajar hasta con 10 toneladas de vapor/hora y a 100 libras de presión, como límites máximos de operación.



Esquema de una caldera acuotubular

Por otra parte, en las calderas acuotubulares se transporta agua al interior de tubos de intercambio de calor que son posicionados dentro o alrededor del hogar donde se quema el combustible.

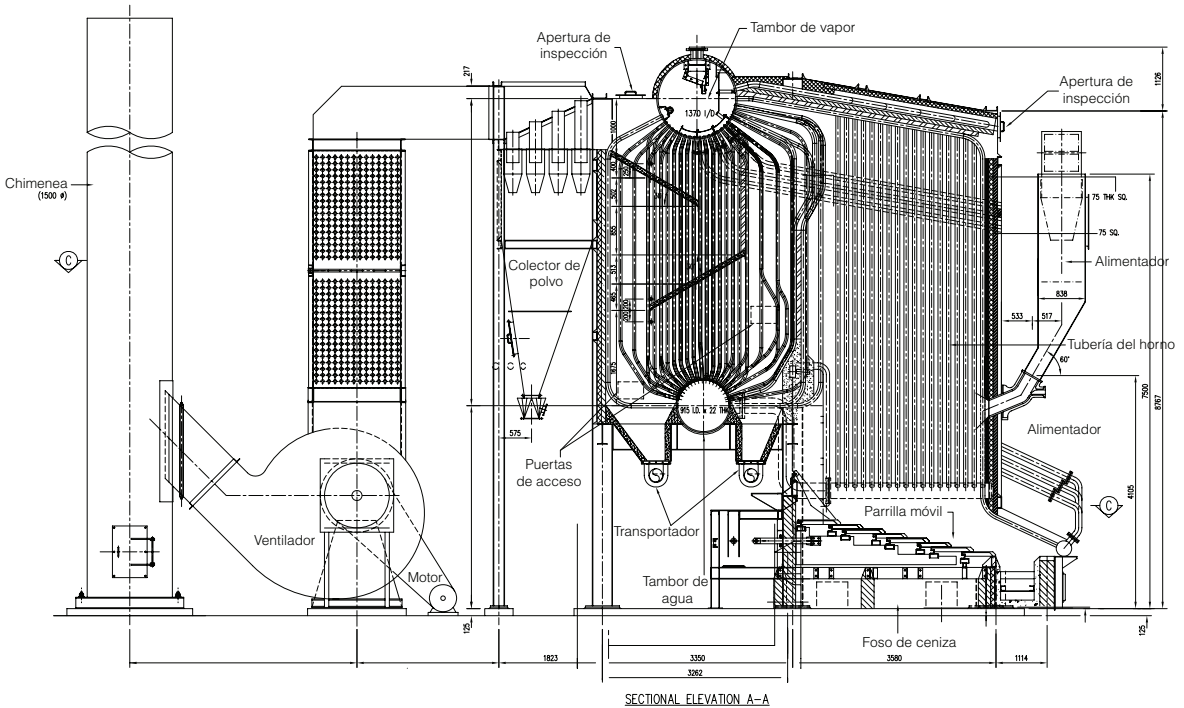
En la industria del aceite de palma, inicialmente se utilizaban las calderas pirotubulares puesto que los requerimientos de vapor no excedían las 100 libras de presión y no se pensaba en la generación de electricidad. Después empezaron a introducirse calderas

Fuente: TechnoSolfCo, Ltd.

mixtas (piro y acuatubulares) para intentar elevar la presión de operación y aumentar la eficiencia de conversión de energía.

A mediados de la década de 1970, con el objetivo de utilizar el vapor en la generación de energía eléctrica, los productores de aceite de palma comienzan a utilizar las calderas acuatubulares debido a su posibilidad de trabajar con un mayor flujo de vapor y niveles superiores de presión.

Esquema de una caldera acuatubular convencional



Fuente: TechnoSolfCo, Ltd.

Con este tipo de calderas y en especial con los materiales existentes en esa época, aparecieron calderas de 12-15 t vapor /t RFF que trabajaban hasta 250 libras de presión y trabajaban en conjunto con turbinas de contrapresión para la generación de energía eléctrica y la autosuficiencia de muchas plantas extractoras. Sin embargo, los principales limitantes de este tipo de equipos radicaban en la dificultad de operación, en especial, para retirar las cenizas generadas, por lo que actualmente se utilizan algunos diseños mejorados, los cuales buscan facilitar la operación y,



Parrilla flotante en una caldera

junto con los materiales, alcanzar niveles de presión mayores para maximizar la generación de energía eléctrica.

Parrilla flotante y vibratoria. Buscando solucionar el problema de evacuación de cenizas se diseñó un esquema en donde la parrilla que recibe los residuos de la quema posea movimiento, accionado por un sistema hidráulico.

La evacuación de las cenizas es realizada por un tornillo sinfín que parte del colector de cenizas y puede llevar un sistema de lavado para facilitar la recuperación del material particulado por parte de los ciclones. En los últimos diseños, el sistema de parrilla móvil permite la circulación de agua de enfriamiento en la parrilla para maximizar su duración y mejorar el proceso de combustión y la distribución del aire primario.

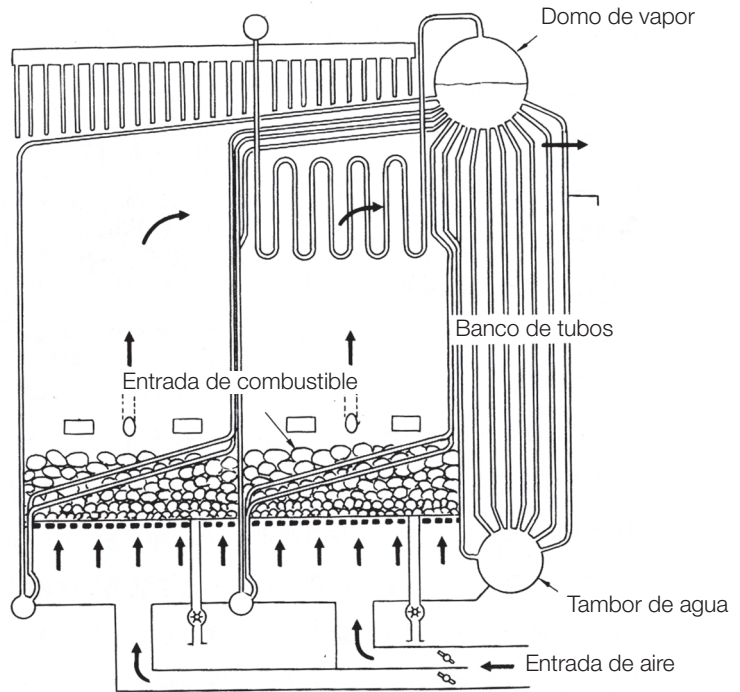
Este sistema esta siendo utilizado, junto con nuevos materiales y sistemas de control automático, en la mayoría de las nuevas plantas extractoras con excelentes resultados, en algunos casos llegando a producir entre 20 y 30 toneladas de vapor/hora con presiones de 600 psi, básicamente con el objetivo de incrementar el salto entálpico del vapor y por consiguiente la generación de energía eléctrica.

Una variación de este tipo de calderas son las de parrilla vibratoria, en donde el principio es similar, con la diferencia de que en este caso la parrilla vibra en vez de desplazarse horizontalmente.

Lecho fluidizado. Este tipo de calderas pretenden realizar una quema del combustible de alta eficiencia para reducir la cantidad de residuos generados. Básicamente, el combustible es alimentado por la parte superior y es esparcido completamente en la cámara de combustión mediante la inyección de mayores volúmenes de aire por la parte inferior.

Para garantizar una quema rápida y eficiente del combustible, este debe tener un tamaño de partícula muy pequeño para que pueda permanecer suspendido en el aire durante su proceso de quemado; por tal motivo este tipo de calderas no son ampliamente utilizadas en las plantas extractoras de aceite, puesto que los principales combustibles utilizados (fibra y cáscaras) poseen un tamaño de partícula muy grande y mantenerlos en un lecho

fluidizado es muy complicado. Además, este tipo de calderas requieren un suministro mayor de energía eléctrica para los ventiladores que deben mantener el lecho.



Esquema de una caldera de lecho fluidizado

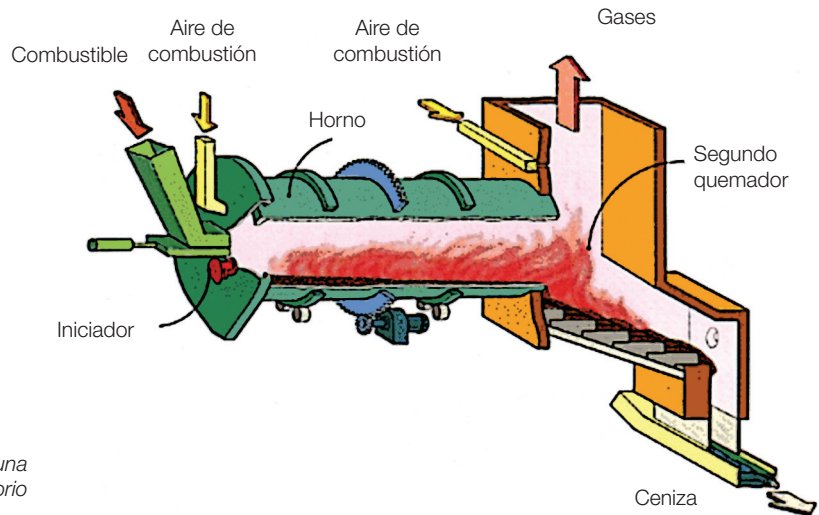
Fuente: TechnoSoftCo, Ltd.

Según los requerimientos también existen calderas de este tipo para grandes capacidades de presión (600 psi) y flujo de vapor (30 t/h), particularmente alimentadas con carbón mineral o, como se ha visto últimamente, con hueso de palma molido para reducir su tamaño.

Horno rotatorio. Para combustibles de gran tamaño y largo tiempo de quemado, en la actualidad se utilizan calderas del tipo de horno rotatorio, con un principio de funcionamiento similar al de los hornos de la industria del cemento. En estos equipos el combustible es alimentado a un tambor rotatorio que gira lentamente y va consumiendo el combustible.

Las temperaturas de operación de estos equipos son las más elevadas debido al largo tiempo de retención que tiene el combustible. Por tal motivo, tienen la tendencia a presentar altas

concentraciones de NOx en los gases de salida y son estrictamente regulados por las corporaciones ambientales.



Esquema de una caldera con horno rotatorio

Fuente: TechnoSolfCo, Ltd.

Factores que afectan el rendimiento de una caldera de combustión de biomasa

Disponer de una caldera de combustión de biomasa regulada y optimizada en todos sus parámetros de funcionamiento no es tarea fácil. La intervención de personal especializado se justifica por la rentabilidad de las mejoras obtenidas. A grandes rasgos, se trata de mejoras energéticas que incluyen: el ahorro de combustibles, el ahorro de energía eléctrica, mejoras medioambientales y minimización de emisiones atmosféricas.

Los parámetros de una caldera de combustión que deben ser optimizados son: el valor de la depresión o tiro, la cantidad de aire de combustión, la distribución del aire de combustión (turbulencia), la temperatura del aire de combustión, la calidad y estado de conservación del material refractario, la calidad y estado de conservación material de fundición (parrillas) y la temperatura del hogar de combustión.

Tiro en cámara de combustión

El tiro o extracción en la cámara de combustión es probable que sea el factor que más influencia tiene en el funcionamiento y en el rendimiento de una instalación de combustión. Por lo general, una caldera industrial trabaja con un tiro forzado mediante la

actuación de un ventilador centrífugo, el cual es el encargado de aspirar los gases del hogar de combustión, hacerlos pasar por la caldera y por los sistemas de depuración y emitirlos a la atmósfera a través de la chimenea.

Entre las ventajas de un valor de tiro forzado elevado se encuentran: un menor número de sobrepresiones en el hogar, lo que evita la salida de humos, chispas o llamas por los huecos del hogar de combustión (puertas de carga y toberas); mejor respuesta de la caldera y, por tanto, mayor capacidad térmica; y mayor refrigeración de parrillas y material refractario.

No obstante, también existen inconvenientes: posible arrastre de materiales ligeros (cenizas, inquemados); mayor consumo de la caldera en términos de kg/h de material alimentado al hogar (este punto, en algunos casos, podría ser una ventaja); y mayor consumo eléctrico del motor ventilador de tiro.

Cantidad, distribución y temperatura del aire de combustión

Para facilitar la combustión de la biomasa en el hogar, es necesario garantizar la presencia de suficiente cantidad de oxígeno comburente para completar el proceso de combustión. Si la cantidad de aire en el hogar es inferior a la que el combustible requiere, se produce una combustión incompleta: humo negro, inquemados, monóxido de carbono (CO), etc.

Si la cantidad de aire en el hogar es muy superior a la que el combustible requiere, se produce un enfriamiento del hogar, que a su vez es compensado con aporte adicional de combustible: aumento del consumo.

El aire de combustión que se aporte al hogar se debe distribuir de tal forma que se garantice que todas las partículas de combustible estén “rodeadas”, en todo momento, de oxígeno comburente para completar el proceso de combustión. Esto se consigue mediante una elevada turbulencia en el hogar y optimizando la distribución de aire de combustión a través de toberas de inyección dirigidas a las zonas con presencia de combustible y llama.

El aire de combustión que se aporte al hogar puede hacerse a temperatura ambiente o por medio de aire precalentado.

Si la cantidad de aire en el hogar es inferior a la que el combustible requiere, se produce una combustión incompleta: humo negro, inquemados, monóxido de carbono.

Como base de referencia podemos establecer que, para una caldera convencional, precalentando el aire de combustión antes de su inyección al hogar a una temperatura de unos 100°C, puede suponer un ahorro de combustible cercano al 5%.

Calidad y estado de los materiales refractarios

Un material refractario deteriorado, o en malas condiciones estructurales, provoca una falta de estanqueidad y aislamiento que afecta al rendimiento del sistema.

Calidad y estado de las parrillas

Las parrillas de fundición se incorporan a los hogares para facilitar la entrada de aire de combustión a través del lecho o talud que forma el combustible en el interior del hogar de combustión.

El estado en que se encuentren estas parrillas es fundamental a la hora de tener un buen rendimiento de combustión en el hogar.

El deterioro prematuro de unas parrillas puede producirse por la calidad de la fundición, inferior a la requerida, por el proceso y refrigeración defectuosa.

Las parrillas deben estar protegidas en todo momento de las altas temperaturas, principalmente de las llamas. Esto se consigue refrigerándola por medio del aire de combustión que se aporta al hogar y manteniendo la parrilla cubierta de manera permanente por combustible. También por diseño defectuoso, dilataciones mal calculadas o no previstas o ataque químico por algún agente externo.

Temperatura del hogar

Para obtener buenos rendimientos de combustión es imprescindible mantener los niveles térmicos en valores elevados de temperatura. Cuando un hogar está en fase de arranque o está muy sobredimensionado, se ha sobrecargado de combustible o tiene entradas parásitas de aire ambiente, la temperatura del mismo será baja.

Las elevadas temperaturas provocan la descomposición de la materia orgánica con que está formada cualquier tipo de biomasa. Se comienzan así a desprender gases, los cuales, a su vez, también sometidos a las altas temperaturas, comienzan a arder y a generar llama, iniciando el proceso de combustión.

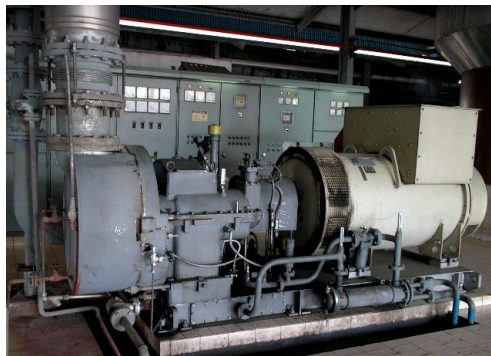
En los momentos en que las temperaturas son bajas, este proceso de combustión no se completa de forma adecuada y aparecen humo negro o materiales inquemados.

Generación de energía eléctrica

En las plantas extractoras de aceite, a partir de la década de 1970, se dio inicio a una tendencia hacia la utilización del vapor producido en las calderas para generar energía eléctrica y alcanzar inicialmente una autosuficiencia energética. La principal ventaja de este esquema radica en la disponibilidad de combustible que existe en las plantas extractoras, al contar con 650 kg aproximados de biomasa por tonelada de RFF procesada.

Esta generación simultánea de dos formas útiles de energía a partir de una misma planta es conocida como cogeneración. En el caso de las plantas extractoras se genera simultáneamente energía térmica y eléctrica.

En los sistemas de cogeneración en general, a diferencia de lo que ocurre en las plantas extractoras, el calor generado para los procesos es considerado como un subproducto de estos sistemas que utilizan como combustible biomasa y/o combustibles fósiles. El uso de este calor como vapor de proceso, agua o aire caliente va a depender de las características y requisitos de los procesos que deben ser atendidos por la planta de cogeneración.



Turbina de vapor a contrapresión

En las extractoras de aceite, tradicionalmente se han utilizado los sistemas con turbina de vapor tanto de contrapresión como de condensación; puesto que puede ser adaptado para pequeñas

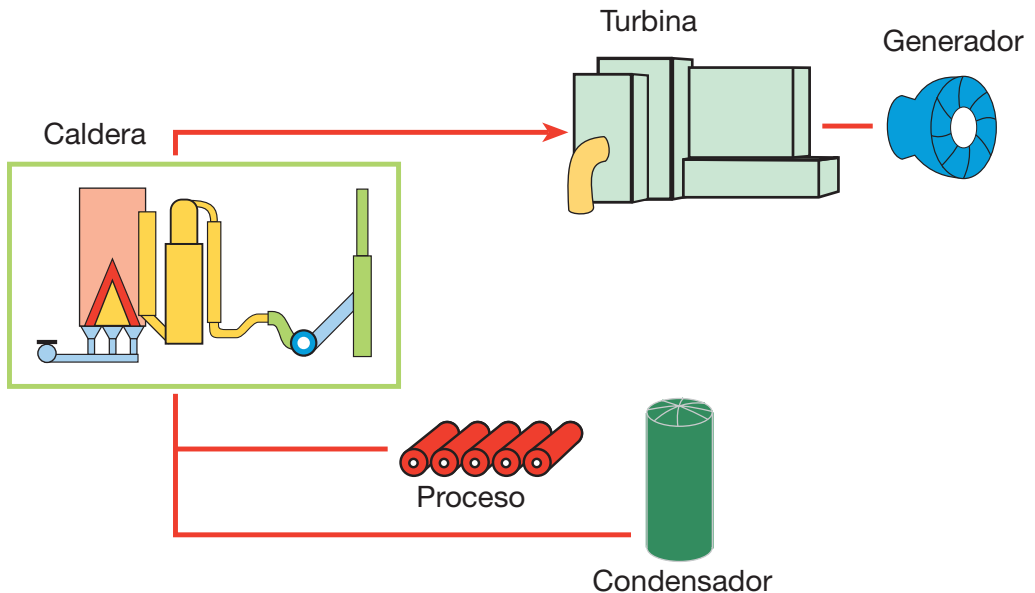


Modelo de una turbina de vapor a contrapresión

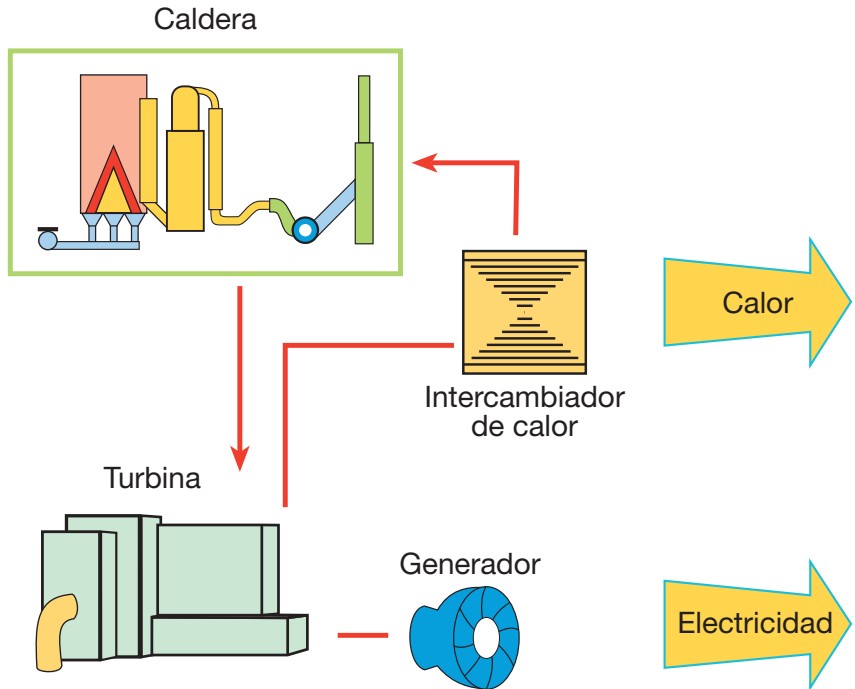
instalaciones por debajo de 1 MW hasta instalaciones de 50 MW fácilmente. Este tipo de sistemas funciona mediante un Ciclo Rankine, en donde el vapor es generado en una caldera acuotubular a presiones entre 200 y 400 psi y expandido en una turbina de vapor conectada a un generador eléctrico. El vapor expandido puede ser utilizado directamente (contrapresión) o condensado en un intercambiador de calor para su reutilización (condensación).

En el caso de las turbinas de condensación, la expansión del vapor puede ser maximizada al utilizar una temperatura baja en las torres de condensación para generar así una mayor cantidad de electricidad. También es posible realizar una extracción de parte del vapor para utilizarlo directamente y condensar el resto. Este tipo de sistemas ofrecen una alta flexibilidad de operación puesto que permite realizar variaciones en la razón electricidad/calor según los requerimientos de los procesos; además, este tipo de equipos presentan un consumo muy bajo, con aproximadamente 10 kg vapor / kWh electricidad.

Esquema de proceso de un sistema de cogeneración con turbina de condensación



Esquema de proceso para un sistema de cogeneración con extracción – condensación

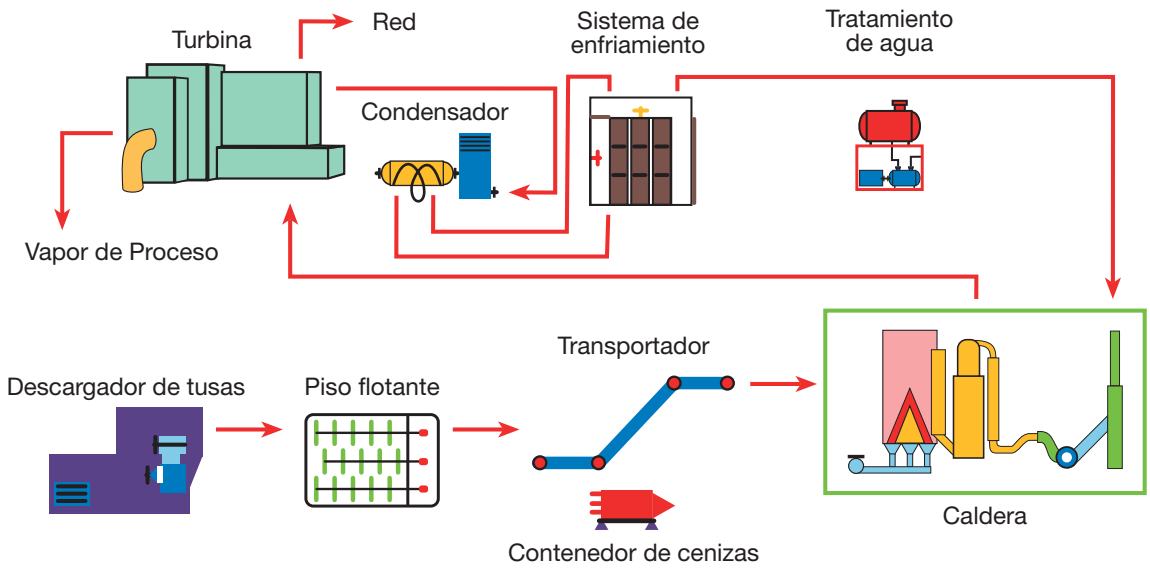


Por otra parte, los sistemas que utilizan turbinas de contrapresión son considerados como los sistemas de cogeneración más sencillos, en el sentido en que todo el vapor expandido en la turbina es utilizado en forma directa para aplicaciones de calentamiento. Este tipo de sistemas tiene un consumo de vapor mucho mayor en comparación con una instalación de condensación o extracción-condensación, pues requiere aproximadamente 22 kg vapor / kWh electricidad generado.

La eficiencia eléctrica para este tipo de sistemas varía entre 15% en pequeñas unidades de contrapresión y 35% en unidades avanzadas de condensación, mientras que en sistemas de extracción – condensación de última tecnología se pueden alcanzar eficiencias energéticas totales de 70%.

En 2006 Cenipalma desarrolló un estudio sobre las potencialidades de cogeneración del sector palmero colombiano en donde se

Esquema de cogeneración utilizado en la planta de TSH Bio-Energy



Fuente: COGEN3

analizó la posibilidad de uso de turbinas de extracción- condensación en las plantas extractoras, utilizando como combustible los diferentes residuos de biomasa producidos. Los resultados de este trabajo permitieron establecer que por cada tonelada de racimos de fruto fresco procesada, una planta extractora puede generar entre 70 – 90 kWh luego de suplir sus requerimientos de calor o entre 150 -160 kWh cuando la planta de extracción no se encuentra procesando.

En el ámbito internacional, tal vez el ejemplo más importante de una central de cogeneración para una planta extractora de aceite se presenta en TSH Bio-Energy, empresa en Malasia subsidiaria de TSH Resources Bhd., la cual posee una central de cogeneración de 14MW que utiliza toda la biomasa disponible como combustible para generar 80 toneladas vapor/hora a 900 psi y 402°C. Son exportados a la red eléctrica local 10MW y 25 toneladas de vapor son utilizadas para el proceso de extracción de la planta.

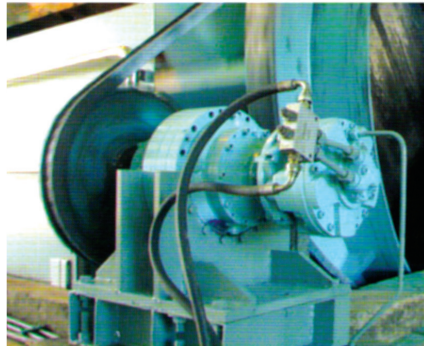
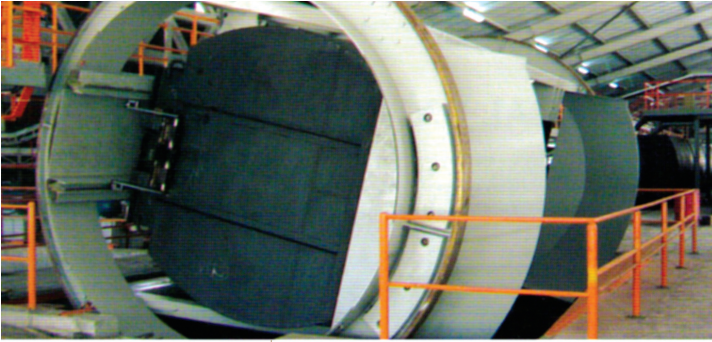
Según los reportes, el costo de la inversión de este proyecto fue de € 9M sin incluir las obras civiles con un periodo de retorno de cuatro años.

Servicios de logística y comunicación interna

El crecimiento explosivo del poder del cómputo y las redes, incluida Internet, está convirtiendo a las organizaciones en empresas conectadas en red. Esto permite la distribución instantánea de información dentro y fuera de la organización. Esta capacidad puede servir para rediseñar y dar nueva forma a las organizaciones, transformando su estructura, alcance de operaciones, mecanismos de informes y control, etc.

Las tecnologías de información (mail, Internet, videoconferencias) permiten una coordinación estricta de trabajadores dispersos geográficamente en distintos horarios y culturas. Ahora es posible organizarse de manera global y trabajar a nivel local. Partes enteras de las organizaciones pueden desaparecer, como por ejemplo, los inventarios y las bodegas en los que se almacenan, si los proveedores se vinculan con los sistemas de computación de la empresa y entregan solo lo que necesitan y justo a tiempo.

Los sistemas de información han ido sustituyendo de manera gradual los procedimientos de trabajos manuales por procedimientos, flujos y procesos automatizados. Las mejoras en los flujos de trabajo han permitido a las organizaciones recortar sus costos y mejorar el servicio a los clientes de manera simultánea. Los flujos de trabajo rediseñados pueden tener un impacto profundo en la eficiencia de las organizaciones e incluso dar pie a nuevas estructuras de organizaciones, productos y servicios. Las empresas usan la tecnología para organizarse de forma más flexible, lo que incrementa su capacidad para responder a cambios en el mercado y aprovechar nuevas oportunidades. Los sistemas de información confieren a las organizaciones, tanto grandes como pequeñas, una flexibilidad adicional para superar algunas de las limitaciones debidas a su tamaño.



Capítulo 5

Sistemas de control de una planta extractora

El concepto de control involucra la descripción detallada de un proceso, la identificación de sus principales variables de respuesta y los factores de operación, de manera que se puedan establecer límites o márgenes que garanticen la homogeneidad en las condiciones de proceso en todo momento.

Un primer paso para controlar un proceso es el monitoreo del comportamiento de sus variables de entrada y de respuesta, para determinar cuál de ellas tiene una mayor incidencia sobre los resultados finales. Posteriormente, debe implementarse la automatización de los equipos o elementos responsables de las variables de mayor importancia. Dentro de la automatización, un elemento muy importante es el actuador, pues es él quien finalmente ejecuta la acción repetida. De acuerdo a las condiciones existen actuadores de tipo neumático, hidráulico o electrónico.

Se puede decir que un proceso está controlado cuando se conocen los valores ideales de las variables de operación y se tienen sistemas automáticos dentro del proceso que permiten mantener cada variable en su valor óptimo.

Cuarto centralizado de motores



Tablero de control de un CCM

Los sistemas de distribución usados en las aplicaciones industriales en general son complejos. La energía puede estar distribuida por varios transformadores, conmutadores y tableros. Cuando se usan motores, estos deben tener sistemas de control y un arrancador que lo controla. Cuando se usan unos pocos motores dispersos en la planta, los componentes del circuito de protección y control pueden estar localizados en un panel al lado del motor.

Pero en la actualidad, así sean pocos los motores requeridos en una planta, es deseable controlar todos, o por lo menos unos cuantos, en un punto central. Esto dio vida a un aparato diseñado para esta función específica que es el centro de control de motores (CCM). Los CCM son simplemente agrupaciones físicas de combinaciones de arrancadores, en un solo montaje. La combinación del arrancador es un encerramiento único, que contiene el arrancador del motor y los fusibles o el interruptor del circuito.

Las ventajas de los CCM son entre otras:

- Instalación y cableado más fácil y rápido
- Control centralizado de motores
- Se requiere menor espacio
- Apariencia más limpia y atractiva
- Facilidad para colocar nuevos componentes o ampliar los existentes en el futuro como arrancadores y demás.

Automatización y monitoreo

Los primeros esfuerzos para implementar la automatización comenzaron con la instalación de equipos electrónicos en varias partes de los procesos, que presentaron gran cantidad de problemas por el ambiente de suciedad y vapor en la atmósfera. Luego vinieron intentos por automatizar partes de los procesos con la utilización amplia de sistemas de control total de la planta extractora, pero desafortunadamente estos no fueron exitosos.

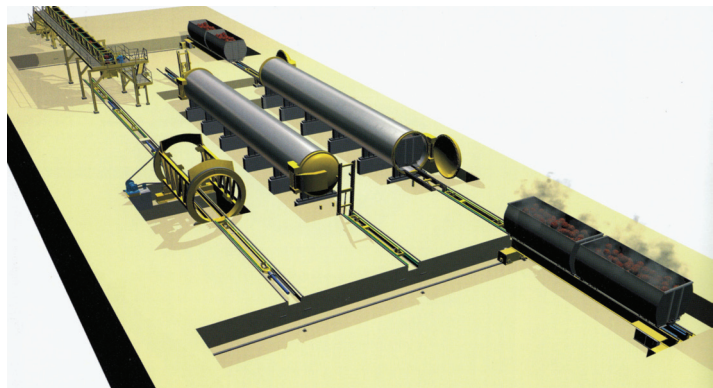
A pesar de estos contratiempos de los años ochenta, se continuaba anticipando que la tecnología de la automatización tendría un impacto significativo en la operación de las plantas extractoras.

Con la elección adecuada de elementos y equipos para el ambiente de las plantas, el paso de la tecnología análoga a la digital y haciendo uso de los desarrollos en *hardware* y *software* así como nuevas tecnologías en la automatización misma, la industria de la extracción de la palma de aceite, en la mayoría de los países donde se cultiva, ha aprendido por experiencia cómo lograr verdaderos incrementos de productividad.

Una ventaja significativa de la esterilización continua sobre la esterilización convencional es que hace continua la operación de la extracción del aceite de palma de principio a fin, volviendo más rentable automatizar las operaciones de manejo de los racimos. Un control total de la planta puede ser utilizado para facilitar el monitoreo y el control de la fábrica desde un centro de mandos.

Se puede lograr un sistema rentable de control total de la planta, capaz de monitorear ampliamente y de controlar los procesos de extracción y los equipos, utilizando un sistema de supervisión y de adquisición de datos, sistema que consiste de una red de computadores personales (PC) y de controladores lógicos programables (PLC), elementos que transforman las variables del proceso en señales que sean reconocidas por los sistemas y equipos de control.

Un sistema de circuito cerrado de televisión se puede integrar con el sistema empleando la misma red para permitir el control visual de las operaciones que necesitan ser controladas de manera detallada utilizando un computador. La comunicación entre los operarios de la sala de mandos y los operarios de campo se logra con el uso de radios.



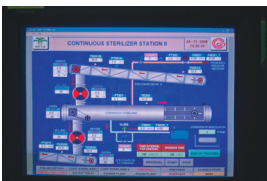
Sistema automático de esterilización convencional

Toda la información pertinente sobre el estado de los equipos y de los procesos es monitoreada por el sistema de control que utiliza gráficos animados del proceso y despliegues de texto. Monitorear en tiempo real permite una evaluación mucho más completa y exhaustiva del desempeño del equipo y del proceso y hay más dinámica en el proceso de lo que es posible manualmente.

Los circuitos de control son empleados para todas las variables críticas del proceso. Aunque estos puedan ser utilizados para asegurar que aquellos parámetros del proceso como la temperatura y el nivel sean mantenidos en los valores deseados, la complejidad agregada y el costo de aplicar tales circuitos de control solo pueden ser justificados si hay beneficios palpables. Hasta que los estudios del análisis del proceso puedan confirmar los beneficios del control automático, el telemando que se controla desde la sala de mandos y los ajustes periódicos por operarios de campo, aquellos circuitos podrán ser considerados suficientes.



Indexer para el transporte automático de vagonetas



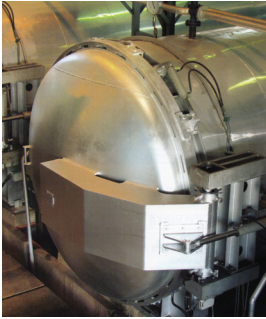
Sistema de control del proceso de esterilización continua

Para promover una mayor automatización y para facilitar el monitoreo y el control de la fábrica desde una sala de mandos, el sistema de mando total de la planta es utilizado para controlar la posición de encendido y apagado en que se encuentran todos los motores. El sistema monitorea también la carga en todos los equipos de la planta y proporciona las alarmas cuando la carga es irregularmente alta.

El sistema es utilizado también para arrancar y apagar las secciones de la fábrica y para realizar paradas de emergencia si hubiese una condición anormal. Los inversores son utilizados para los motores más críticos para facilitar el cambio en el tiempo de residencia y/o la capacidad desde la sala de mando.

El sistema de circuito cerrado de televisión es utilizado para controlar las operaciones que necesitan ser controladas de cerca pero que todavía no han sido automatizadas completamente y para reforzar la vigilancia en la seguridad de la planta extractora de aceite de palma.

En esta etapa, las dos más importantes funciones realizadas por el sistema del control son: monitorear el proceso en tiempo real y el control centralizado de los motores. Aunque hay lugar aún para mejoras adicionales, el nuevo sistema de control hace



Sistema neumático para apertura de la puerta de los esterilizadores

posible considerarlo para la operación de las extractoras de aceite de palma desde una sala de mandos central. El sistema también les proporciona información mucho más útil a los usuarios para mejorar la operación y el mantenimiento de la planta.

Puesto que el control automático de la extracción y los procesos no se llevan aún a cabo extensamente, los operarios de planta son requeridos aún para complementar las funciones del sistema de control.

La utilidad del sistema de control en una planta con amplio nivel de sistematización, depende de hasta qué punto la información proporcionada por ese sistema refleje la situación verdadera del proceso, de hasta qué punto los usuarios puedan interactuar con el proceso que utiliza el sistema y sobre la robustez del mismo. Estos temas deben ser manejados de manera efectiva por los diseñadores de sistemas para asegurar el éxito del proyecto de automatización de la fábrica. Si el sistema de control proporciona una visión incompleta o inexacta de la situación del proceso y si los usuarios tienen que invertir demasiado tiempo en la planta para ejecutar manualmente las funciones de control, entonces es improbable que esos usuarios le atribuyan mucho valor.

De manera semejante, si el sistema de control o sus componentes tienden a dañarse también con frecuencia y por mucho tiempo, así como si el esfuerzo y el costo requeridos para mantener el sistema son altos, entonces su nivel de aceptación será bajo.

La planta extractora de aceite de palma constituye un ambiente relativamente hostil para sistemas de automatización. Es por eso importante que todos los componentes del sistema de automatización sean convenientes para el tipo de condiciones industriales encontradas en estas fábricas, tales como polvo, temperatura alta del ambiente, humedad atmosférica alta, alimentación muy variable y un ambiente corrosivo (ácido) debido al vapor de ácidos grasos de palma presentes en el aire.

Atención especial debe ser puesta también a la provisión de las instrucciones adecuadas para el personal involucrado en el uso y la conservación de estos sistemas y en la provisión de presupuestos adecuados para el mantenimiento y el mejoramiento de los mismos.

Supervisión y control desde el cuarto de mando

Un sistema de control puede usarse en toda la planta extractora, facilitando la supervisión en conjunto y el control del proceso desde un cuarto de mando centralizado.

Las cuatro funciones más importantes de este sistema de mando son:



Cuarto de control de una planta extractora

- Supervisión del proceso en tiempo real, con la información de equipos y procesos que puede ser monitoreada por el sistema de mando mediante graficas animadas y despliegues de texto. Son de interés particular la presión de operación en la caldera, la alimentación de agua, kWh producidos y las condiciones en esterilización y prensado.
- Permite la valoración y análisis más profundos de los equipos y procesos, de lo que sería posible en forma manual.
- Controles de mando pueden usarse para todas las variables críticas del proceso.
- Control centralizado de motores, para promover una mayor automatización, facilitar la supervisión y controlar la planta desde un cuarto de mando. El sistema debe usarse para monitorear el encendido, apagado y estado de uso de todos los motores. El sistema también puede supervisar la carga en todos los equipos y proporciona las alarmas cuando la carga es anormalmente alta. Puede usarse para encender y/o apagar secciones de la planta y para realizar el apagado de emergencia si hay una condición anormal.

Control e indicadores de proceso y eficiencia

Control de proceso

Los procesos son evaluados, controlados, medidos y mejorados por medio de los indicadores e iniciativas. Las iniciativas incluyen la definición de actividades, tiempos, responsables y presupuestos. Posteriormente se les debe hacer seguimiento.



Tablero de control de la esterilización

En las plantas extractoras de aceite de palma durante los procesos ocurren pérdidas inherentes a los mismos que no se pueden reducir a cero, pero que con el control del proceso se buscan minimizar para obtener los mejores rendimientos de aceite. Estas pérdidas se presentan en los desechos sólidos y los efluentes líquidos. Las principales pérdidas que ocurren en las diferentes etapas del proceso son:

Esterilización

La tecnología utilizada, el grado de maduración y el manipuleo de los RFF, tienen gran incidencia en las pérdidas de aceite que se presentan en esta etapa del proceso.

- Pérdidas de aceite en condensados. Pérdida que ocurre en el efluente líquido, debido en la mayor parte a la presión y alta temperatura, que causan rompimiento de celdas que contiene el aceite. El vapor que se condensa, lo arrastra y lo saca del esterilizador.
- Pérdidas de aceite por frutos o RFF completos que caen al piso de las vagonetas o se quedan dentro del esterilizador.
- Pérdidas de aceite en frutos adheridos, producto de una mala esterilización, que no permite que todos los frutos quedan bien cocinados.

Los sistemas automáticos para la esterilización, junto con la determinación de las mejores condiciones de operación permiten mantener estas pérdidas en rangos aceptables.

Desfrutación

Las dimensiones del tambor desfrutador, la dosificación de racimos, el grado de maduración y el manipuleo, tienen gran incidencia en las pérdidas de aceite que se presentan en esta etapa del proceso.

- Pérdidas de aceite en frutos adheridos. Si el fruto fue bien esterilizado, pero las dimensiones y el tiempo en el tambor no son las adecuadas, pueden ocurrir esta pérdida.
- Pérdidas de aceite en raquis. El exceso de aceite en la esterilización o en la desfrutación impregna los raquis.



Tablero de un sistema de control del nivel de llenado de los digestores

En este caso, las pérdidas son controladas mediante una alimentación regulada, con base en el llenado de los digestores.

Extracción

Una digestión donde no hay suficiente temperatura en la mace-ración de la masa y por ende no se rompen todas las celdas que contienen el aceite y un prensado donde no hay columna de fruto o la presión es muy poca que no saca todo el aceite de la masa o muy alto que rompe las nueces, tienen gran incidencia en las pérdidas de aceite que se presentan en esta etapa del proceso.

- Pérdida por aceite en fibras. Es el aceite que queda incluido en la torta que sale de la prensa.
- Pérdida por aceite en nueces. El aceite que sale impregnado en el cuesco de las nueces.

Debe controlarse el nivel de presión en los conos de prensado, la cantidad de agua adicionada, las condiciones de mantenimiento y el nivel de los digestores nuevamente.

Clarificación



Control manual de la capa de aceite en un clarificador horizontal

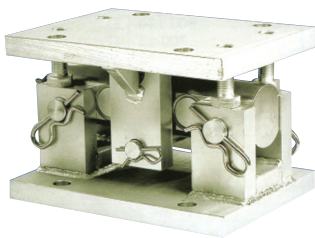
Una clarificación donde no son separadas en forma adecuada las impurezas y el agua provenientes del licor de prensa y si se deja salir aceite libre con estas impurezas o en el agua, tienen gran incidencia en las pérdidas de aceite que se presentan en esta etapa del proceso.

- Pérdidas de aceite en lodos. Este aceite sale con los lodos de las centrífugas.
- Pérdidas en aguas de desecho por escapes o purgas mal realizadas.

En este caso las variables de control son la cantidad de agua adicionada y la temperatura principalmente.



Silos de secado de almendra automatizados



Celda de carga para los silos de almendra

Palmistería

Un proceso de palmistería donde no son separadas en forma adecuada las almendras de los finos, las fibras y el cuesco, presentan las pérdidas de almendras del proceso.

- Pérdida de almendra en fibras del ciclón. Causada por las almendras que se van en la corriente de aire junto con las fibras en el desfibrador.
- Pérdida de almendra en cáscaras secas. Corresponde a las almendras partidas que se van con las nueces por mal rompimiento de las nueces o porque no son separadas en el hidrociclón.

La regulación de flujos de mezcla triturada y aire en las columnas de separación permite optimizar esta operación.

Indicadores de proceso

Mediante los indicadores cada planta de extracción de aceite de palma debe medir los procesos frente a las metas propuestas, analiza las causas de sus variaciones y en función de su comportamiento, establece iniciativas o proyectos que permitan que el proceso medido entre dentro de los parámetros establecidos. Los indicadores más usados se describen a continuación.

Para todas las plantas:

- Toneladas de fruto procesado por hora
- % de extracción de aceite de palma crudo (toneladas de aceite producido / toneladas de fruto procesado)
- % Acidez del aceite de palma crudo
- % Humedad del aceite de palma crudo
- % Impurezas del aceite de palma crudo
- % de extracción de aceite de palma crudo / potencial de aceite sobre materia prima
- % Humedad del palmiste
- % Impurezas del palmiste
- Pérdidas totales de aceite durante el proceso (toneladas de aceite perdido en proceso / toneladas de fruto procesado)
- Horas de parada no programadas en planta
- % de cumplimiento de programa de mantenimiento
- Costos proceso planta extractora / Toneladas procesadas de aceite rojo
- % de cumplimiento del presupuesto aprobado.

Para las plantas con extracción de aceite de palmiste:

- % de extracción de aceite de palmiste (toneladas de aceite producido / toneladas de almendra procesada)
- % Acidez del aceite de palmiste
- % Humedad del aceite de palmiste
- % Impurezas del aceite de palmiste
- % de extracción de torta de palmiste
- % de residual de aceite en torta de palmiste
- % de humedad de torta de palmiste
- Pérdidas de almendra
- Costos proceso planta extractora aceite palmiste / Toneladas procesadas de almendra.

Para las plantas con generación de energía:

- % de KW generados / KW consumidos.

Control de eficiencia



Operación de la etapa de desfrutamiento

En las plantas extractoras se deben controlar tanto el proceso de producción como la optimización y operación de todas las áreas que la componen. El personal debe estar calificado para operar cada una de las secciones de acuerdo con los procedimientos y deben entender el proceso como un todo y tener muy claro las interrelaciones entre cada una de las etapas. La dirección de la planta debe prestar atención a las siguientes medidas:

- Sostener las medidas para estabilizar y mejorar los procesos
- Mejorar las destrezas de los operadores y el personal
- Implementar métodos probados de control y monitoreo
- Instalar sensores y sistemas de alarma apropiados
- Considerar las precauciones en caso de eventos no esperados en la operación
- Implementar mediadas para prevenir y contener derrames
- Entrenar el personal de manera permanente
- Mejorar los planes de manejo de acuerdo con las variaciones estacionales de la plantación
- Entender el tipo, cantidad, calidad y valor de los subproductos y residuos
- Tener los equipos necesarios para el monitoreo de cantidades y características de los flujos de las corrientes importantes de aceite, lodos y otros residuos líquidos

- Mantener actualizado el balance de masas de la planta
- Supervisión.

Indicadores de eficiencia

Mediante estos indicadores cada planta de extracción de aceite de palma debe medir su eficiencia de operación frente a las metas propuestas, analizar las causas de sus variaciones y en función de su comportamiento, establecer iniciativas o proyectos que permitan que el proceso medido se encuentre dentro de los parámetros establecidos. Los indicadores más usados son:

Para todas las plantas:

- Capacidad de planta. $(\text{Toneladas de fruto procesado por hora} / \text{capacidad instalada de planta} * 100)$.
- Eficiencia planta. $(\% \text{ de extracción aceite de palma crudo} / (\% \text{ de extracción aceite de palma crudo} + \text{pérdidas totales de aceite durante el proceso}) * 100)$.

Para las plantas con extracción de aceite de palmiste:

- Capacidad de planta. $(\text{Toneladas de almendra procesado por día} / \text{capacidad instalada} * 100)$.
- Eficiencia planta. $(\text{Almendra procesada} / (\text{almendra procesada} + \text{pérdidas totales de almendra}) * 100)$.

Para las plantas con generación de energía:

- $\% \text{ de KW generados} / \text{KW consumidos}$.

Control de calidad

Se entiende por calidad la capacidad de un grupo de características o rasgos de un producto, servicio o proceso para cumplir con los requisitos de los clientes.

El control de calidad de todos los aspectos involucrados en el proceso de extracción de aceite de palma es la clave para tener un proceso que se desarrolle cumpliendo con los estándares de calidad.

Se debe realizar este control desde la recepción de los RFF en la plataforma, antes de ser almacenados en las tolvas y allí se lleva a cabo el control de calidad de la materia prima. Los aspectos a verificar en cuanto al fruto son principalmente relacionados con su madurez y formación. Los aspectos a controlar, que van a tener incidencia en la extracción de acuerdo a las tablas del PORLA de Malasia, son:

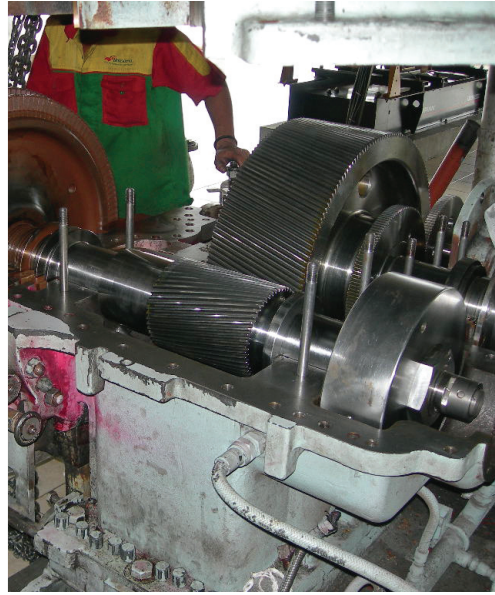
- Fruto maduro
- Fruto sobremaduro
- Fruto verde
- Fruto pintón
- Fruto podrido
- Fruto malformado
- Pedúnculo largo.

Se deben establecer los límites permitidos para cada uno de los casos anteriores y al productor se le debe de su pago por el fruto en función de la calidad entregada, dado que dependiendo de esta se va a aumentar o disminuir la extracción de aceite de palma.

Las funciones más importantes del sistema del control son: monitoreo del proceso en tiempo real y control centralizado de los motores.

El otro aspecto importante es la calidad de los productos terminados y despachados en la planta de extracción. La labor principal del laboratorio de la planta extractora, es estar permanentemente monitoreando los aspectos de calidad con el fin de garantizar un despacho de productos dentro de los parámetros de calidad exigidos por el cliente. Muchos de estos aspectos de calidad son indicadores de proceso, dada su importancia. Los principales aspectos de calidad para controlar en la planta son:

- Acidez del aceite de palma crudo despachado
- Humedad del aceite de palma crudo despachado
- Impurezas del aceite de palma crudo despachado
- Acidez del palmiste despachado
- Humedad del palmiste despachado
- Impurezas del palmiste despachado
- % de almendra rota en palmiste despachado
- Acidez del aceite de palmiste despachado
- Humedad del aceite de palmiste despachado
- Impurezas del aceite de palmiste despachado
- Torta de palmiste sin moho.



Capítulo 6

Mantenimiento predictivo y preventivo de una planta

Una ventaja en el mercado global

Por mantenimiento se entiende las acciones necesarias para la conservación de los equipos de producción, para asegurar que estos se mantengan en óptimas condiciones de confiabilidad y sean seguros de operar.

Aunque muchas plantas de extracción de aceite de palma manejan una planeación estratégica enfocada a mejorar la productividad, continúan considerando el mantenimiento como un costo necesario y no han entrado en las nuevas tecnologías y prácticas innovadoras que están colocando a la función del mantenimiento como una parte integral de la utilidad total en muchos negocios. Las sólidas técnicas modernas de mantenimiento y su sentido práctico tienen el potencial para incrementar en forma significativa las ventajas en el mercado global.

Las plantas de extracción de aceite de palma buscan continuamente soluciones para mejorar su utilidad, mediante un mejor rendimiento del proceso y un mantenimiento provechoso. Hasta hace poco, las labores de mantenimiento se basaban en lo correctivo. Esta filosofía de operar hasta fallar se centraba en trabajos de reacondicionamiento sin programación, se realizaba solo

Mantenimiento de una turbina a contrapresión



en las paradas de proceso por falla de equipos que eran inesperadas y duraban un período relativamente largo. Luego las plantas buscaron oportunidades para aumentar los tiempos de operación de los procesos por medio de mantenimiento preventivo y predictivo, lo que ha implicado, además de acciones regulares de mantenimiento, otras basadas en condiciones. El resultado ha sido el mejoramiento general de la confiabilidad de los procesos y paradas más cortas.

Muchas plantas están fijando ahora su mirada aún más lejos y su objetivo es desarrollar la eficiencia de los equipos por medio de una gerencia total de funcionamiento. Esto inevitablemente significa una cooperación más cercana entre el productor, la organización de mantenimiento y el fabricante del equipo. Un mantenimiento preventivo exitoso es la comprensión completa de la condición y comportamiento del proceso. Esta es la única base buena para todas las otras acciones en la planta extractora.

Se conocen tres tipos de mantenimiento bien diferenciados:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo.

El propósito de los programas de operación y mantenimiento de las plantas, es mantener la funcionalidad del diseño, capacidad e integridad, y/o restaurar los componentes del sistema a su condición original y por ende a su funcionalidad.

El mantenimiento de los equipos de una planta extractora de aceite de palma puede ser una actividad proactiva o reactiva. Los

programas de mantenimiento eficaces se basan en conocer los componentes de cada equipo del proceso, dónde se localizan y la condición de cada uno de ellos. Con esa información el mantenimiento proactivo puede ser planeado, lo que implica programar las necesidades de la intervención identificada y realizar los programas de mejora previstos y presupuestados.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento clasificado como correctivo, incluyendo el mantenimiento de emergencia, es reactivo. Se efectúa solo cuando las fallas han ocurrido o su proximidad es evidente. Es el tipo de mantenimiento más generalizado, quizá por requerir menor conocimiento e hipotéticamente menor organización. La dependencia en el mantenimiento correctivo dará siempre lugar a un mal funcionamiento del proceso, en especial con equipos de cierta edad. Un enfoque del mantenimiento correctivo se caracteriza por:

- La inhabilidad de planear y de programar el trabajo
- La inhabilidad de presupuestar en forma adecuada
- Uso pobre de recursos
- Una alta incidencia de las fallas de los equipos y el proceso.

Un programa de mantenimiento eficaz puede reducir emergencias normales y conocidas. Las emergencias extraordinarias, tales como rotura de partes, serán siempre ocurrencias imprevisibles. Sin embargo, los efectos de emergencias extraordinarias en el funcionamiento del proceso se pueden reducir al mínimo con la puesta en práctica de un programa de mantenimiento planeado y el desarrollo de un plan detallado de respuesta a la emergencia.

Mantenimiento preventivo

El mantenimiento clasificado como preventivo es proactivo y se define como un enfoque sistemático programado a las actividades del mantenimiento. Este tipo de mantenimiento puede ser programado para prever las fallas con base en criterios específicos como parámetros de diseño, equipos problema, condiciones de trabajo supuestas, tiempo de operación desde el último mantenimiento o cierto tiempo calendario transcurrido. Su característica es evitar que las paradas de planta ocurran mediante el servicio y reparación o reposición programada.



Fabricación del rotor de un decanter



Fabricación domo de vapor de una caldera

El propósito de los programas de mantenimiento es conservar la funcionalidad del diseño y la capacidad, y restaurar los componentes del sistema a su condición original.

Una buena organización de mantenimiento que aplica el sistema preventivo, con la experiencia que gana, cataloga la causa de algunas fallas típicas y llega a conocer los puntos débiles de instalaciones y máquinas. Este tipo de mantenimiento dará siempre lugar a un mejor funcionamiento del proceso, excepto en casos donde problemas crónicos mayores son el resultado de defectos de diseño y/o construcción que no pueden ser corregidos totalmente por las actividades de mantenimiento programado. El mantenimiento proactivo se realiza sobre una base periódica. Un enfoque del mantenimiento preventivo se caracteriza por:

- Aumentar la automatización
- Reducir las pérdidas de la planta debido a retrasos en la producción
- Reducción de inventarios
- Producción de productos de mayor calidad
- Fabricación justo a tiempo
- Reducción de equipos redundantes
- Reducción de consumo de energía
- Necesidad de un ambiente más planeado y organizado.

Mantenimiento predictivo

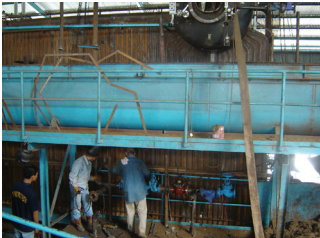
El tercer tipo de mantenimiento es el predictivo, que también es proactivo, es un método donde se establecen datos bases de rendimiento, se monitorean criterios de funcionamiento durante un período de tiempo, se observan cambios en el funcionamiento o rendimiento, para poder predecir fallas de acuerdo con tendencias y así realizar el mantenimiento sobre una base planeada y programada. El rendimiento del proceso o equipo es con frecuencia un indicador confiable de cómo está funcionando y su mantenimiento. Las labores principales para desarrollar en una planta de extracción de aceite en cuanto a mantenimiento preventivo pueden ser:

- Establecer un mantenimiento general una vez al año o *Overhaul*. Este programa debe realizarse en época de baja cosecha.
- Estudio y diagnóstico de espesores en los equipos a presión, tanques, tuberías principales, ciclones y ductos.
- Estudio y diagnóstico de vibraciones en equipos rotativos como ventiladores, reductores de gran tamaño, centrifugas de lodos, *decanters*, turbinas y desfrutadores.

- Análisis de termografía de motores y tableros eléctricos.
- Inspección de motorreductores.
- Inspección y diagnóstico de turbinas.
- Inspección de calderas.
- Diagnósticos regulares de todos los equipos e instalaciones, con la ayuda de instrumentos de diagnóstico tales como un aparato para medición de temperaturas, multímetro, fonendoscopio para inspecciones mecánicas, etcétera.

Programa de mantenimiento preventivo y predictivo

Los mantenimientos preventivos y predictivos son planeados y se diseñan para mejorar la vida de los equipos y evitar cualquier actividad de mantenimiento no prevista. Ambos mantenimientos incluyen pintura, lubricación, limpieza, ajuste, ensayos no destructivos y reemplazo de componentes de menor importancia para ampliar la vida de los equipos y de las instalaciones. Su propósito es reducir al mínimo interrupciones y la depreciación excesiva. Ni el equipo ni las instalaciones pueden llegar al punto de rotura. En su forma más simple, el mantenimiento preventivo se puede comparar al servicio programado para un automóvil.



Montaje de una caldera

Un programa de mantenimiento preventivo y predictivo debe incluir:

- Ensayos no destructivos
- Inspecciones periódicas
- Actividades de mantenimiento proyectadas
- Mantenimiento para corregir las deficiencias encontradas con los ensayos o inspecciones.

Existen muchas razones para establecer un programa de mantenimiento preventivo y predictivo y siempre que alguna de ellas esté presente, se requiere un programa de este tipo.

La razón más importante para establecer un programa de mantenimiento es la reducción de costos, vista en muchas formas:

- Reducción de tiempos de parada de la producción, como resultado de menores daños en las máquinas.

- Mejor conservación de los activos e incremento en su expectativa de vida, eliminando el reemplazo prematuro de la maquinaria y equipos.
- Reducción de horas extras y una utilización más racional de los trabajadores de mantenimiento, debido a un trabajo basado en una programación.
- Una rutina de reparaciones oportunas lleva a pocas reparaciones grandes.
- Reducción de costos de reparaciones al reducir fallas secundarias. Cuando los componentes de un equipo fallan en operación, normalmente dañan otras piezas.
- Reducción de productos rechazados, retrabajos y desechos, debido a una mejor condición general de los equipos.
- Identificación de los equipos con costos de mantenimiento excesivos, indicando la necesidad de mantenimiento correctivo, entrenamiento de operador o reemplazo de equipos obsoletos.
- Mejoría en la seguridad y en las condiciones de calidad.

Si no se puede demostrar que un programa de mantenimiento preventivo reducirá costos, es probable que no haya una buena razón, con excepción de razones de seguridad, de tener un programa de mantenimiento.

Los únicos riesgos que puede conllevar la implementación de un programa de mantenimiento se refieren a errores humanos durante la realización de los ensayos, las inspecciones, malas prácticas, instalación de partes incorrectamente y malas operaciones durante el mantenimiento.



Repuestos para prensas de palmiste

La clave de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo exitoso radica en la programación y la ejecución. La programación debe estar automatizada al máximo grado posible. La prioridad se le debe dar al mantenimiento preventivo y a un programa de monitoreo de la programación muy agresivo y para asegurar que los trabajos se completen de acuerdo con lo planeado.

Software para manejo del programa de mantenimiento preventivo y predictivo

Para el rápido y correcto manejo del programa de mantenimiento preventivo y predictivo es indispensable contar con un *software* que permita la recolección y actualización del sistema desde otros

sistemas externos y que sea compatible y pueda integrarse con el sistema de inventarios del almacén, si es que hay uno diferente. El *software* debe administrar y generar las entradas y salidas de repuestos necesarios, costeo de elementos y suministros, listado de proveedores, requisiciones de materiales, servicios y órdenes de trabajo, tanto internas como externas. También debe realizar los presupuestos o permitir la integración con el sistema central de la empresa.

Debe ser un sistema de gerencia de activos modular, configurado de acuerdo con las necesidades de cada planta extractora. Debe ofrecer los módulos básicos y opcionales que permitan una gran variedad de selección al usuario final. Este *software* debe tener, por lo menos, los siguientes módulos:

- Módulo básico
- Control de inventarios
- Programación por uso
- Costos y presupuesto
- Generador de reportes.

A continuación se presenta una descripción de cada módulo:

Módulo básico

El módulo básico debe dar solución a los requerimientos básicos de un programa de mantenimiento preventivo y predictivo y debe incluir:

Registro de activos

Esta sección del módulo básico es la base de todo el sistema, dado que es la que incluye cada uno de los equipos de la planta, las instalaciones y los componentes. Aquí se diseñan las planillas, se crean listas y códigos y se diseña el formato de las pantallas básicas. En el momento de realizar la creación de tablas y campos se deben tener en cuenta los códigos de los equipos, repuestos y los planos asociados a cada uno de ellos; la vida útil, el tiempo de reposición y el costo de cada repuesto; las secciones del proceso de acuerdo con lo establecido en los costos; los códigos de lubricantes utilizados y los proveedores. Esta sección del módulo debe tener el listado actualizado y completo de las fichas técnicas de los equipos existentes y tener la posibilidad de ingresar o eliminar equipos.

Los mantenimientos preventivos y predictivos son planeados y se diseñan para mejorar la vida de los equipos y evitar cualquier actividad de mantenimiento no prevista.

Órdenes de trabajo

El módulo básico debe manejar todo tipo de órdenes de trabajo, de servicio y un número ilimitado de trabajos para desarrollar, cubriendo los mantenimientos preventivos, predictivos, trabajos de emergencia y modificaciones. Los costos en que incurre cada orden de trabajo se deben acumular en cada activo.

Programación de mantenimientos preventivos y predictivos

Esta sección del módulo básico debe disponer de las herramientas para la programación y planeación del mantenimiento con fechas, descripción del trabajo que se va realizar, permisos, recursos, planos, repuestos, carga de trabajo por especialidad y trabajador, programador máster para distribuir trabajos y planear actividades, etc.

Llevar comparativos de órdenes de trabajo planificadas vs. realizadas, horas hombre estimadas vs. reales y órdenes de trabajo programadas vs. ejecutadas y pendientes.

Crear órdenes de trabajo de mantenimiento y de lubricación preventivas, pero con posibilidad de emitir labores correctivas por fallas inesperadas que se presenten en el proceso de extracción.

Producir una lista de trabajos pendientes y un proceso clasificado por diferentes conceptos como son: prioridad de orden en el trabajo, equipos, fechas, tipo de trabajo, causa de parada no programada, etcétera.

Producir, en forma automática y con anticipación, las labores próximas para ser ejecutadas, incluyendo los repuestos que se van a utilizar.

Tener un programa preventivo de labores por cada equipo con la opción de ingresar o suprimir cualquier labor y/o equipo del proceso.

Tener listas de chequeo por cada tipo de máquina, con opción de agregar o eliminar listas sin importar el tipo de equipo que ingrese al proceso.

Ficha técnica de cada equipo

Esta debe incluir el listado completo de partes y repuestos. Es como la tarjeta de identidad de los equipos, en la cual se registran

todos los datos técnicos correspondientes a los mismos: marca, año de fabricación, tipo, número de serie, capacidad, potencia, dimensiones generales, materiales, etcétera.

Hoja de vida de cada equipo

Se alimenta con las órdenes de trabajo y de servicio. Es la historia clínica de cada equipo, en la cual se registran las fallas, accidentes, inspecciones, diagnósticos, reparaciones, etc., que se le efectúen indicando las fechas, piezas cambiadas, y demás acciones realizadas.

Reportes gerenciales y de costos

Debe realizar reportes gráficos y responder a preguntas sobre costos, responsable del trabajo, recursos utilizados, análisis de fallas, eficiencias, etcétera.

Control de inventarios

Este módulo facilita la gerencia diaria de los repuestos, insumos y demás elementos. Maneja niveles de inventario por producto incluyendo salidas y entradas, pedidos, stocks de seguridad, fechas de pedido con sus alarmas cuando los niveles de existencias estén por debajo de lo permitido, precios, ubicaciones en el almacén y reportes con valoraciones, movimientos, listado de proveedores y partes. Debe emitir alarmas sobre los tiempos de reposición de los repuestos y presentar estados de alerta en los listados mínimos de *stock* de los repuestos cuando la existencia sea menor o igual al mínimo establecido.

Programación por uso

Maneja los indicadores de cada componente de los equipos, teniendo en cuenta las horas de uso, además de los períodos regulares de tiempo y señala las prelación en las tareas de mantenimiento.

Costos y presupuesto

Permite analizar costos, controlar gastos y administrar el presupuesto. Carga los costos a los equipos y órdenes de trabajo y permite conciliar los costos en cualquier nivel, incluyendo mano de obra interna y externa, materiales y costos externos. También permite confrontar costos contra el presupuesto con análisis detallado y realizar un manejo del presupuesto de la función del mantenimiento por centros de actividad.

Generador de reportes

El módulo debe producir los reportes más utilizados y los que cada usuario requiera para su control. Los reportes más comunes son:

Para el rápido y correcto manejo del programa de mantenimiento preventivo y predictivo es indispensable contar con un software que permita la recolección y actualización del sistema.

- Órdenes de trabajo de mantenimientos correctivos-preventivos ya ejecutadas
- Órdenes de trabajo de lubricación de los equipos ya ejecutadas
- Stock mínimo de repuestos
- Reportes de los detalles del mantenimiento realizado, es decir, la hoja de vida de los equipos
- Listado completo de los datos técnicos de cada equipo, es decir, la ficha técnica
- Listas de chequeo creadas por clase de equipo
- Reportes de los mantenimientos externos contratados, es decir, las solicitudes de servicio
- Reporte de energía consumido por cada sección del proceso
- Reportes de la totalidad de mantenimientos correctivos-preventivos realizados a la fecha del requerimiento
- Repuestos requeridos para mantenimientos en los próximos 15 días
- Alarmas y su solución
- Alarmas no solucionadas
- Órdenes de compra de repuestos pendientes
- Órdenes de servicio pendientes
- Evaluación y comparación de los costos de mantenimiento incluyendo herramientas, repuestos, mano de obra, solicitudes de servicio y energía
- Índices de eficiencia en mantenimiento día, mes y año.

Sistemas de contratación del mantenimiento

Un programa de mantenimiento preventivo y predictivo es fundamental para el buen funcionamiento de una planta de extracción de aceite de palma. Las labores de operación y mantenimiento de la planta están ligadas a la llegada de fruto, que al ser variable a lo largo del año, obliga a la planta en algunas épocas a trabajar a plena capacidad, sin permitir paradas para el mantenimiento, mientras que en otras se puede dedicar tiempo para mantenimiento programado.

Por el hecho de ser el proceso de extracción de los aceites de palma y de palmiste netamente físico produciendo gran desgaste en los equipos, y con la llegada al proceso de basura y cuerpos extraños, este trabajo abrasivo se incrementa. Por tal motivo y para lograr buenos resultados en la extracción de los aceites de palma y de palmiste, es necesario revisar en forma permanente el desgaste de las partes de los equipos, en especial las prensas de los dos procesos.

Al presentarse una falla inesperada en un equipo del proceso, se distrae la atención de los mecánicos de la empresa en labores de mantenimiento correctivo. Esto ocasiona horas extras y atrasos en la programación del mantenimiento preventivo y predictivo, lo que obliga a reprogramar labores.

Adicionalmente a lo anterior, no es posible tener un contratista externo que pueda llegar de inmediato a reparar el equipo que sale de servicio, dado que hay que reiniciar lo más pronto posible el proceso.

Lo anterior ha llevado a pensar que se deben tener varias modalidades de contrato para poder acometer las labores de mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo sin traumatizar el proceso y sin tener paradas significativas.

Mantenimiento *insourcing*

Todas las labores de mantenimiento se llevan a cabo por personal contratado por la planta de extracción de aceite y se deben tener varios grupos de mecánicos especializados en cada uno de los tipos de mantenimiento.

Los grupos de mecánicos que realizan el mantenimiento preventivo y predictivo, de acuerdo con el programa de mantenimiento, se deben dedicar exclusivamente a estas labores y no deben distraerse en otras.

Es conveniente tener otros grupos dedicados a las reparaciones correctivas, que pueden estar destinados a labores menores como revisión de fugas, mantenimiento de tuberías, válvulas, vagonetas, etc., cuando no hay equipos que han fallado en forma inesperada.

El mantenimiento insourcing incurre en costos elevados, pero considerados como un gasto necesario.

Adicional a esto se puede tener un taller donde se realizan reparaciones de partes, reconstrucción de elementos y fabricación de piezas.

Este tipo de mantenimiento depende en gran medida del suministro oportuno y en la cantidad necesaria de partes de repuestos, conocimiento completo de todos los equipos, planos de todas las partes y elementos, gran cantidad de máquinas y herramientas y un *stock* grande de repuestos.

El gran inconveniente de este sistema son los costos elevados que resultan de la gestión de mantenimiento, pero se sigue considerando como un gasto necesario.

Mantenimiento *outsourcing*

Consiste en contratar todo o parte del mantenimiento con terceros en lugar de ejecutarlo con personal de la propia empresa. Las plantas de extracción de aceite deben buscar la ayuda de terceros que sean capaces de realizar ciertas actividades mejor que la empresa y permitir que esta se centre en su misión específica (*core bussiness*) para así lograr un mejor resultado integral. Este sistema es una verdadera solución a ciertos problemas de la empresa, dado que el mantenimiento es una labor necesaria y fundamental pero que no agrega valor desde el punto de vista del negocio de extracción.

Al ejecutar ciertas actividades por especialistas, que deben contribuir a mejorar el resultado global de la empresa, se deben buscar dos aspectos básicos para una buena labor, la calidad y el costo.

Los pasos para definir si se realiza el contrato de mantenimiento mediante *outsourcing* son:

- Recopilación de información. Se realiza un levantamiento de los equipos, se determina la complejidad e importancia para el proceso y se verifica su situación en cuanto a mantenimiento se refiere.
- Análisis de recursos. La empresa debe analizar la disponibilidad de recursos para realizar la actividad de mantenimiento con personal interno y compararlos con los recursos requeridos para cada actividad de mantenimiento necesaria en la

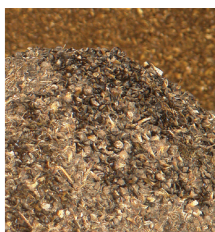
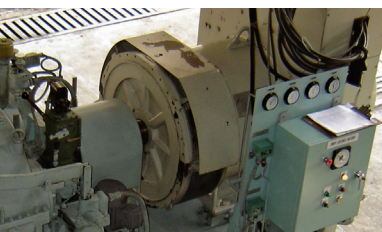
Al contratar con externos el servicio de mantenimiento se buscan dos aspectos para una buena labor: calidad y precio.

planta extractora. De ahí se definirá si la empresa cuenta con todos los recursos necesarios para realizar las tareas de mantenimiento y garantizar una operación adecuada del mismo.

- Estudio de costos al realizar el mantenimiento con medios propios. Se analizan los diferentes costos en que incurriría la empresa al llevar a cabo por su cuenta, con los recursos que dispone, las actividades de mantenimiento. Estos costos son: la ejecución directa de las tareas de mantenimiento, los repuestos y mantener las piezas en inventario.
- Costos de contratar el mantenimiento *outsourcing*. Se analizan los costos por concepto de establecer un contrato con un tercero para que se encargue de realizar algunos o la totalidad de los servicios de mantenimiento.
- Toma de decisión si realizar el mantenimiento directamente con personal y recursos de la empresa o contratar los servicios externamente. Esta decisión sale de la comparación de costos y análisis anteriores.
- Análisis de factibilidad de adquirir los recursos necesarios.

Realizando el *outsourcing* del mantenimiento preventivo y predictivo, de acuerdo con programa de mantenimiento, se dejan los mecánicos de la planta dedicados a las reparaciones correctivas, labores menores como revisión de fugas, mantenimiento de tuberías, válvulas, entre otras.

Adicionalmente se puede tener un sistema de contratación del mantenimiento completo de secciones de la planta, en el cual el contratista se obliga a mantener funcionando adecuadamente los equipos de la sección, de realizar los cambios de partes de acuerdo a un programa de mantenimiento y de garantizar ciertos objetivos mínimos de calidad, rendimiento y capacidad. El contratista se encargará de suministrar los repuestos para todo el período contratado, los consumibles y el personal especializado requerido a trabajar para desarrollar las labores.



Capítulo 7

Manejo de subproductos

A pesar de que el proceso de extracción de aceite produce una mayor cantidad de residuos (tusa, fibra, cáscaras y efluentes) en comparación con la cantidad producida de los aceites de palma y de palmiste, tradicionalmente se consideró que estos materiales no poseían un valor agregado; sin embargo, las tendencias mundiales y los requerimientos ambientales han obligado a los industriales a volcar sus esfuerzos a la optimización de los procesos y el aprovechamiento de lo que antes fue considerado como desecho. A continuación se presenta una breve descripción de las tecnologías en desarrollo con base en los diferentes materiales mencionados.

Biogás

La obtención de biogás para calefacción y generación de energía fue intentada hace más de 20 años. Dada la abundancia de combustibles fósiles, el interés en el desarrollo de esta tecnología acabó estancado. El biogás es un combustible renovable que es obtenido como un co-producto de la descomposición bacteriana metanogénica de la materia orgánica en metano y dióxido de carbono. Consiste aproximadamente de dos tercios de metano y un tercio de dióxido de carbono, el biogás tiene una buena quema y puede ser utilizado para proveer energía en forma de calor o

electricidad. Es un combustible relativamente gratis una vez que existe un sistema colector instalado. Existe un gran número de diseños de digestores que han sido propuestos para capturar el biogás, incluyendo las lagunas carpadas y el uso de biodigestores. Estos ofrecen la ventaja de que la operación puede ser controlada estrictamente para maximizar la producción de biogás.



Laguna de estabilización

En el caso en que se utilizan lagunas carpadas, las primeras sirven para el enfriamiento del efluente y la recuperación del aceite residual, la laguna principal para la descomposición anaerobia y producción de metano (el cual es colectado carpando la laguna), y las siguientes para el pulimento aerobio del efluente. Una cadena de lagunas de este tipo permite lograr eficiencias de remoción de la demanda bioquímica del oxígeno (DBO) del 95 al 99 % y obtener una producción de biogás del orden de 20 a 25 m³ por tonelada de fruto procesado.

Sin embargo, a pesar de sus bajos costos de inversión iniciales, estas lagunas presentan una serie de inconvenientes de operación que pueden reducir la eficiencia en la remoción de carga orgánica y por consiguiente en la producción de metano. En este sentido podemos mencionar la contaminación de agua freática y la colmatación paulatina con los lodos biológicos producidos; por tal motivo, los sistemas de lagunas carpadas deben ser controlados y monitoreados periódicamente, en particular la temperatura y el pH del sistema, para garantizar su óptimo funcionamiento y obtener una alta tasa de producción de metano dentro del proceso anaerobio.



Laguna carpada para colectar biogás

Por otra parte, existe una tendencia mundial hacia el uso de biodigestores de lecho fijo; este diseño es considerado como el más apropiado para aplicaciones donde el efluente es producido continuamente en grandes cantidades.

Inicialmente, el efluente debe atravesar un tanque desaceitador y un filtro para eliminar sólidos de gran tamaño antes de ser enviado a un tanque pulmón que permite una alimentación continua y una reducción de temperatura para garantizar una operación controlada del biodigestor. La eficiencia de estos digestores es aumentada debido a que las bacterias permanecen fijas en la superficie de un material de soporte y logran conformar una biopelícula, aumentando el área superficial y permitiendo un mayor



Material de soporte utilizado al interior del biodigestor

contacto entre el efluente y las bacterias. Esto significa que el volumen del digestor será menor y que se obtendrán unas mayores tasas de digestión. El residuo líquido del proceso de biodegestión es enviado a un tanque de post-almacenamiento y en gran número de casos se utiliza para procesos de compostaje en compañía de los racimos vacíos.

Abajo se observa un biodigestor de lecho fijo en la parte izquierda y un tanque mixto de post-almacenamiento de lodos en la parte inferior y almacenamiento de metano en la parte superior.



El biogás obtenido, bien sea en lagunas carpadas o en biodigestores, puede ser canalizado tanto a una turbina a gas como a un motor de combustión interna, que opera un generador para producir corriente alterna para su uso local o para la conexión a la red. El uso de motores de combustión interna ha sido preferido en las plantas extractoras debido a sus menores costos de capital. Los altos costos de mantenimiento de las turbinas a gas y la inversión adicional que debe ser realizada para instalar filtros, compresores y estaciones de almacenamiento de gas, no han permitido la adopción de esta tecnología.

Para su uso en motores de combustión interna el biogás debe ser tratado para reducir la concentración de compuestos corrosivos que puedan afectar los motores, como el ácido sulfhídrico H_2S , cuya concentración en el biogás obtenido es del orden de 1.400 ppm. Para lograr esto se pueden implementar sistemas de filtración biológica con bacterias, los cuales poseen dos etapas (dos medios de soporte): la superficie de la laguna y una torre empacada con material orgánico. La primera etapa permite

Se estima que la cantidad de energía que se puede obtener a partir del biogás garantiza las demandas de vapor y electricidad de la planta extractora.

reducir la concentración de H₂S a menos de 400 ppm, y la segunda a valores inferiores a 80 ppm. Adicionalmente, se utiliza un filtro químico tradicional con óxido de hierro que sirve de pulimento y de sistema de emergencia, y reduce la concentración de H₂S a valores inferiores a 30 ppm.

Una vez que el biogás ha sido tratado es posible adaptar plantas eléctricas diésel, para que funcionen como sistema DUAL-FUEL (quemando los dos combustibles al mismo tiempo). Para lograrlo se inyecta el biogás en la tubería de succión de aire del motor, entre el filtro de aire y el turbo. Este sistema DUAL permite economizar entre 40 y 80% del diésel, según el tipo de adaptación (con o sin la regulación automática del flujo de biogás en función de la carga del motor).

Esta práctica es utilizada por varias plantas extractoras en Colombia con excelentes resultados; no obstante, el método más adecuado económicamente para el uso del biogás puede ser su quema directa (sin purificar) en un quemador de una caldera o en un calentador. Para esto, el gas simplemente requerirá alguna compresión antes de que pueda ser utilizado en el quemador. Se estima que la cantidad de energía que puede ser obtenida a partir del biogás garantiza las demandas de vapor y electricidad de la planta extractora y permitiría el uso de la fibra, cáscaras y racimos vacíos en la generación de otros productos.

Compostaje de efluentes y racimos vacíos

En una planta de beneficio convencional los racimos vacíos se reciclan aplicándolos a la plantación sin tratamiento, mientras que los efluentes son tratados en lagunas anaeróbicas. Como ya se mencionó, la dificultad del mantenimiento y la falta de una técnica apropiada para la evacuación de lodos de las lagunas han dado como resultado tasas bajas de degradación de demanda química de oxígeno (DQO) y, por tanto, las aguas residuales que se descargan en algunos casos son altamente contaminantes.

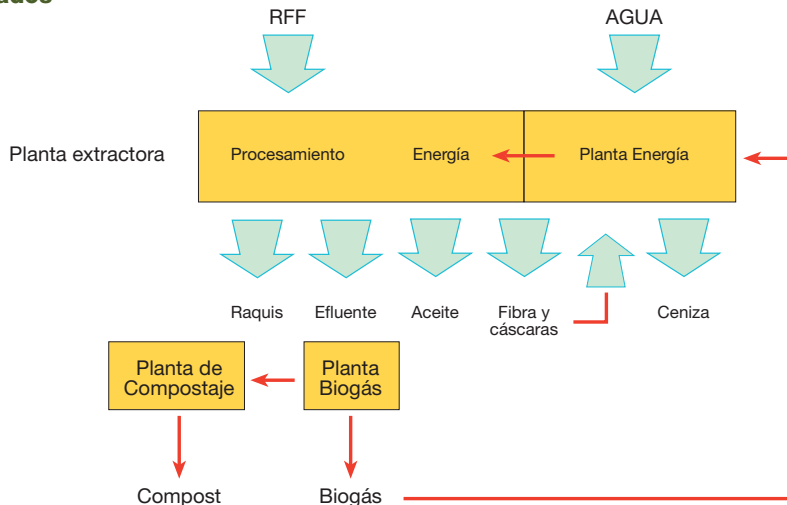
La producción sostenible se caracteriza por proporcionar beneficios sociales como la generación de empleo, ambiente limpio y beneficios económicos en el largo plazo. Bajo este concepto, algunas buenas prácticas son las de recuperar todos los nutrientes

de los efluentes y de los residuos sólidos (racimos vacíos) para usarlos en la plantación, o usar el contenido de energía de los residuos sólidos (fibra y cáscaras) para producción de energía y así evitar la contaminación ambiental y ahorrar recursos.

En los últimos 15 ó 20 años se han desarrollado procesos alternativos para tratamiento de efluentes y los racimos vacíos como la fermentación anaeróbica en plantas de biogás (Tay, 1991; Borja *et al.*, 1994a; Borja *et al.*, 1994b; Borja *et al.*, 1995; Borja *et al.*, 1996; Hassan *et al.*, 1997; Ugoji, 1997; Wulfert *et al.*, 2002; Shirai *et al.*, 2005; Keong, 2005; Raof *et al.*, 2005, Yacob *et al.*, 2005) y el compostaje de los racimos vacíos (Lim; 1989; Theo and Chia, 1993; Thambirajah *et al.*, 1995; Agamuthu, 1994; Schuchardt *et al.*, 1998; Schuchardt *et al.*, 1999; Goenadi *et al.*, 1998; Franke, 1998; Agamuthu, 2000; Siregar *et al.*, Suhaimi y Ong, 2001; Schuchardt *et al.*, 2002; Lord *et al.*, 2002; Kadir *et al.*, 2004; Saletes *et al.*, 2004; Schuchardt, 2005). En este documento se desarrollan en detalle dos alternativas de compostaje de los racimos vacíos junto con el efluente, con o sin tratamiento anaeróbico.

En el primer caso, *con tratamiento*, los efluentes se usan primero en una planta de biogás y después de la fermentación en un reactor de cama fija, el agua residual pretratada con todos los nutrientes se agrega a los racimos vacíos picados en la planta de compostaje.

Esquema de producción de compost con racimos vacíos y efluentes residuales previamente tratados





Volteo de las pilas de compost

La relación requerida es aproximada de 3,48 m³ de efluentes por una tonelada de racimos vacíos tratada durante las primeras semanas del proceso de descomposición, cerca de 8 a 10 semanas, toda el agua residual se puede evaporar por medio del auto-calentamiento y el clima cálido. El sistema de lagunas de efluentes ya no es necesario pues todo el flujo de efluentes es reutilizado en la producción de compost.

El proceso de compostaje utilizado es aeróbico, por tanto, la oxigenación del sustrato es fundamental para la supervivencia y multiplicación de hongos y bacterias que transforman la materia prima en compost, por lo que es necesario contar con equipos de volteo que permitan el manejo de las pilas de racimos vacíos.

El compost producido en este proceso se caracteriza por el alto contenido de materia orgánica y nutrientes (ver tabla abajo) para usar en la plantación o en otras áreas agrícolas, dependiendo de la localización de la planta extractora. La fibra también podría utilizarse para el compostaje, pero su valor económico puede ser mayor como fuente de energía o en la fabricación de productos con alto valor agregado.

Características del compost producido a partir de racimos vacíos y efluentes tratados, para una planta de beneficio de 1.600.000 t RFF/año después de 10 semanas de descomposición

Compost	T/año	18.400
	m ³ /año	57.929
Materia seca	kg/t	836
Organ. MS	kg/t	562
C/N	-	15
pH	-	7,5
Densidad	kg/m ³	0,45
N	kt/t MS	23,4
P	kt/t MS	3,1
K	kt/t MS	55,3
Ca	kt/t MS	14,6
Mg	kt/t MS	9,6

Dentro de las ventajas de este nuevo proceso se puede observar que la mayoría de las emisiones gaseosas son neutras, dado que la planta de biogás captura el metano, y al utilizarlo como fuente

de energía en vez de la fibra y las cáscaras, se evita la emisión de humo y material particulado. Los nutrientes presentes en los racimos vacíos se recirculan hacia la plantación y la demanda de fertilizantes y/o minerales se puede reducir. Un volumen total de 7,3 m³ correspondiente a la mezcla de racimos vacíos y efluentes, se reduce a 1,8 m³ de compost, adicionalmente, la reducción en peso es de 50% y se reducen los costos en el transporte. Debido a la mayor concentración de nutrientes en el compost, comparado con los racimos vacíos, el volumen de fertilizante orgánico por hectárea se puede reducir y la distancia de transporte se puede aumentar.

Desde el punto de vista económico, un intento por valorar el ahorro anual que puede obtener una planta de beneficio de 30 toneladas de RFF/hora, que procese anualmente 160.000 t RFF es presentado en la tabla siguiente:

Ahorro anual para una planta extractora que implemente el sistema de obtención de biogás y fabricación de compost

Recursos usados en plantas convencionales		
Racimos vacíos	Nutrientes	260.253€
Recursos no usados y ahorro de costos		
Efluente	Nutrientes	233.315€
	Biogás	699.912€
MDL	Certificados CO ₂	643.174€
Diésel ahorrado	Combustible	19.140€
Transporte ahorrado	Combustible y costo de mano de obra	>10.000€
Total		1.605.540€

Con base en esta información existen en la actualidad algunos proyectos en sus estados iniciales, cuyas previsiones establecen que para el caso de la planta integrada de biogás más compostaje de racimos vacíos con el efluente pre-tratado, permiten encontrar tiempos de retorno a la inversión inferiores a cuatro años para diferentes configuraciones. (JTEC, 2007).

En segundo lugar, existe otro proceso que se encuentra en desarrollo para convertir el efluente de las plantas extractoras sin tratamiento y los racimos vacíos en un fertilizante orgánico, también sin generar ningún residuo, optimizando el proceso de com-



Desagarrado



Corte



Prensado



*Racimos cortados y
prensados*

*Preparación de los
racimos vacíos para el
compostaje*

postaje y realizando el secado con los gases de salida de las calderas. Dado que el proceso es completamente aeróbico y no produce metano, puede ser contemplado para aplicar como un proyecto MDL.

Con base en la experiencia obtenida en una planta piloto (Ooi *et al.*, 2006), actualmente está siendo construida una planta en escala comercial conocida como *Bousted Biotherm Palmass Plant* (BBPP) en Indonesia, la cual fue diseñada para tratar todo el efluente y el 75% de los racimos vacíos producidos por una planta de 30 toneladas de RFF/h que procesa 150.000 t RFF al año.

La BBPP comprende un montaje de un cortador y una prensa de racimos, un tanque de almacenamiento y un distribuidor para el efluente, un mezclador del efluente y los racimos vacíos, el reactor para el compostaje, un secador rotatorio y equipos para el monitoreo de la temperatura y los niveles de oxígeno de la mezcla de efluente-racimos vacíos en el reactor de compostaje y la demanda química de oxígeno (DQO), el pH, la humedad y el contenido de nutrientes de las materias primas y el producto terminado.

A continuación se realiza una breve descripción de las cuatro etapas del proceso y se ilustran algunos equipos.

Preparación de los racimos vacíos para el compostaje. Al inicio, un rompedor de racimos intenta aflojar o liberar los frutos adheridos para recuperarlos en un segundo proceso de desfrutamiento. Luego los racimos vacíos son conducidos a un cortador para reducir su tamaño, antes de ser enviados a una prensa para recuperar el aceite impregnado y reducir el contenido de humedad. A partir de este momento los racimos vacíos se encuentran listos para iniciar el proceso de compostaje con el efluente.

Adición del efluente enriquecido a los racimos preparados. El efluente de salida de la planta es bombeado a un tanque de almacenamiento donde se le adiciona un acelerador para aumentar la velocidad del arranque del compostaje y los procesos de bio-secado. Después de prensados, los racimos cortados son descargados en un transportador, donde se le adiciona el efluente enriquecido hasta alcanzar 70% de humedad y pasan al reactor de compostaje. Cualquier reguero o derrame de efluente es recuperado y recirculado.

Recirculación de la mezcla efluente-racimos vacíos. Dentro del reactor de compostaje, la mezcla efluente-racimos vacíos debe ser recirculada dos veces por día para facilitar la aireación, homogenización y adición de efluente en un período de siete días. Este proceso asegura una descomposición termofílica y un bio-secado eficientes.



Reactor de compostaje y algunos de sus componentes



Izquierda.
Transportador de fondo
Derecha.
Transportador alimentador

En este caso, en el momento de realizar la recirculación, el transportador de fondo evacúa la mezcla compactada y la lleva al transportador de alimentación para adicionar nuevo efluente y permitir la aireación.

Secado del producto final. En el octavo día la mezcla de efluentes-racimos vacíos es transportada hacia un secador rotatorio, en donde se alcanza un contenido de humedad de 35% utilizando los gases de chimenea de las calderas de la planta extractora.

A partir de la concentración inicial de nutrientes en el efluente final y en los racimos vacíos se realizaron algunas proyecciones acerca de las características del fertilizante obtenido, en un intento por establecer su precio basado en la comparación con fertilizantes inorgánicos comerciales. Con base en este análisis se pudo establecer que el precio por tonelada del producto final correspondería a 14,32 €. Debido a que esta tecnología es reciente,

actualmente no se cuenta con datos reales sobre un análisis de su viabilidad económica, sin embargo, algunas estimaciones iniciales (2007) han presentado una tasa interna de retorno mayor al 8,5% anual considerando la producción de 15.000 toneladas de fertilizante al año y una venta de 21.000 toneladas de Certificados de Reducción de Emisiones (CER) anuales, con un precio medio de 6€.

Generación energía

A pesar de que ha habido muchas propuestas para la conversión de los residuos de las plantas extractoras en productos con valor agregado, hasta el momento no se ha obtenido un gran éxito económico. Una solución obvia es la utilización de estos productos como fuentes de energía renovable (RE) para procesos que demanden calor y/o electricidad. La implementación de este tipo de proyectos ha sido publicitada de manera considerable en los últimos años debido al incremento en los precios de la energía, la disminución de las reservas de petróleo y el problema del cambio climático ocasionado por el aumento de los gases de efecto invernadero.

Malasia comenzó su quinta política de combustibles en 2001, la cual incorpora la energía renovable como una de las principales fuentes de energía, además del petróleo, gas natural, carbón e hidrógeno. Existe un objetivo de 5% de energía renovable sobre el total de la capacidad instalada para la producción de energía en 2010.



Almacenamiento de fibra para su posterior uso como combustible

La utilización de subproductos en las plantas extractoras como fuentes de energía renovable para procesos que demandan calor o electricidad, es una nueva alternativa.

Los proyectos de energía renovable también han recibido una atención considerable recientemente, porque los desarrolladores pueden reclamar beneficios bajo el marco del mecanismo de desarrollo limpio (MDL) por la reducción en la emisión de los gases de efecto invernadero. En este caso, deben ser cumplidos un cierto número de criterios para que un proyecto sea aprobado bajo el concepto de MDL, incluyendo la demostración de que la reducción de emisiones alcanzada no hubiese ocurrido si el proyecto no hubiese sido implementado. La realización de un proyecto MDL incurre en algunos costos relacionados con la formalización y validación del mismo, así como el monitoreo de la reducción de emisiones. Además, solo los proyectos que generen una reducción significativa en las emisiones son favorecidos. En este momento existe aún un alto grado de incertidumbre en relación con las reglas, procedimientos y al costeo de los certificados de reducción de emisiones (CER) o los créditos de carbono. El tiempo necesario para registrar exitosamente una aplicación es muy largo. La reciente aprobación de varios proyectos sometidos por la industria palmera en Malasia ha ocasionado un incremento en el interés acerca de las oportunidades creadas por un proyecto MDL.

Los desechos del proceso de extracción que pueden ser utilizados como combustibles son la fibra, las cáscaras, la tusa y el biogás obtenido de los efluentes sometidos a un tratamiento anaerobio. Las cáscaras tienen el mayor valor calorífico dentro de estos combustibles. A pesar de que su contenido de humedad es relativamente alto (35 a 40%), la fibra produce la mejor combustión gracias a sus características físicas de fibras pequeñas y consistentes, que proveen una buena área superficial para el contacto con el oxígeno.

Debido a sus características físicas y a su alto contenido de humedad los racimos vacíos requieren pre-tratamiento para reducir su tamaño y su contenido de humedad, con el objetivo de incrementar la estabilidad de la llama durante el quemado. Para la reducción de tamaño, las tecnologías comúnmente utilizadas son molinos de martillo y desfibradores. Estos son preferidos en la mayoría de los casos debido a su bajo consumo de potencia. La reducción de humedad puede ser alcanzada por extrusión mecánica utilizando prensas de tornillo adaptadas o secadores rotatorios que utilizan los gases de salida de la caldera antes de ser evacuados a

la atmósfera. También existen algunas máquinas que combinan la reducción del tamaño y la humedad en una sola etapa.

Algunos esquemas para utilizar los desechos de las plantas extractoras como fuentes de energía renovables serán brevemente descritos a continuación.

Cogeneración

La cogeneración es la operación más eficiente en cualquier proyecto energético, pues involucra la generación simultánea de energía térmica y energía eléctrica en una misma instalación; desde un punto de vista estrictamente técnico, cualquier industria de tamaño mediano o grande que tenga de manera simultánea estas demandas es un posible candidato para cogeneración. Por esta razón, las plantas extractoras de aceite son un excelente escenario para realizar proyectos de este tipo si se tiene en cuenta la disponibilidad de combustibles (fibra, cáscaras, racimos vacíos) en la forma de residuos sólidos del proceso.

En un esquema de cogeneración la planta extractora suministra el combustible a una planta de cogeneración en la forma de los diferentes residuos provenientes de la biomasa residual; posteriormente la planta de cogeneración suministrará a la planta extractora la energía necesaria para su operación en cualquier forma (térmica o eléctrica) y tendrá la posibilidad de comercializar un exceso de energía que pasa a convertirse en uno más de los productos del proceso de extracción. El proceso dentro de la planta de cogeneración está compuesto básicamente de una caldera para producir vapor de alta presión y una serie de turbinas de una o varias etapas para la producción de electricidad, en las que también se puede realizar una extracción de vapor para suplir demandas de calor o frío en un proceso.

Dependiendo de las condiciones de operación este proceso puede ser más eficiente; tal y como se hace hoy en muchas empresas en Colombia, en Malasia anteriormente se utilizaban presiones de trabajo de 20 bar, realizando la expansión con turbinas de contrapresión de una etapa que alcanzaban un consumo de vapor de 22 kg/kWh con lo que solo era posible suplir la demanda de servicios de la extractora. En la actualidad, la mayoría de las plantas extractoras en Malasia han incrementado las presiones de trabajo

La cogeneración es la operación más eficiente en cualquier proyecto energético, pues involucra la generación simultánea de energía térmica y energía eléctrica en una misma instalación.

de estos sistemas hasta 40 bar y han optado por la utilización de turbinas de condensación – extracción de dos etapas, con lo que se ha podido reducir el consumo de vapor a 13 kg/kWh, de manera que existe la posibilidad de exportar energía a otros procesos o a la red de interconexión eléctrica directamente.

Como ejemplo se puede citar la planta extractora de Felcra (30 t RFF/h, 160.000 t RFF/año) en donde mediante la quema completa de la fibra y las cáscaras, junto con 30% de la tusa, es posible generar aproximadamente 1,7 MWh de energía eléctrica, lo que representa un exceso de energía de 1,1 MWh para un consumo de 20 kWh/t RFF. Por otra parte, si se considera la quema completa de toda la biomasa producida como residuo del proceso, existen algunas experiencias en planta (Yee Lee, 60 t RFF/h – 300.000 t RFF/año) en donde se han reportado producciones de energía de 7MWh o un exceso de 5,8 MWh después de garantizar la demanda de la extractora.

En cuanto a los nuevos desarrollos en este tipo de procesos se debe mencionar que debido a que la eficiencia del sistema está relacionada con la presión de trabajo y las características del vapor, en este momento se están desarrollando algunos proyectos para aumentar la presión hasta 80 bar, lo que permitiría reducir el consumo de vapor hasta 8 kg/kWh y prácticamente aumentar en 50% la capacidad de producción de energía eléctrica de las extractoras.

Para el caso de Malasia existen cerca de 400 plantas extractoras, las cuales procesan alrededor de 75 millones de toneladas de racimos de fruto fresco por año. Basados en el supuesto de que las plantas operan durante 16 horas por día, 300 días al año y que 20kWh son requeridos por cada tonelada de racimos de fruta fresca procesada, la capacidad total de producción de electricidad de todas estas extractoras equivale a 300 MW. Existe el potencial para generación de electricidad para interconexión con la red por el exceso de los residuos como los racimos vacíos y los efluentes líquidos. El programa para energía renovable en pequeña escala (SREP) fue lanzado en 2001 para facilitar la implementación de proyectos de interconexión que utilicen energías renovables en plantas de pequeña escala. El foco de este programa ha sido en residuos de biomasa, en especial los generados por la industria del aceite de palma.

La principal ventaja de una planta central de generación puede ser su procesamiento continuo durante todo el año con una eficiencia razonable.

La producción de electricidad puede ser considerada tanto en plantas individuales como en una planta centralizada que utiliza los combustibles de diferentes extractoras vecinas.

En el primer caso, no existen costos de transporte pero la cantidad de potencia generada será muy pequeña y el tiempo de operación de la planta de potencia será únicamente el tiempo de operación de la extractora. Si los costos de distribución pueden mantenerse al margen de la ecuación económica, un sistema con red local puede facilitar la exportación de la energía, lo cual puede ser un problema para la mayoría de las extractoras.

La principal ventaja de una planta central de generación puede ser su procesamiento continuo durante todo el año con una eficiencia razonable. La planta de potencia puede estar situada en una planta extractora para permitir el uso compartido de recursos dado que parte del vapor y la electricidad generados pueden ser utilizados en el proceso de extracción. El costo de cualquier pretratamiento y transporte requeridos debe ser tomado en consideración. El gobierno de Malasia revisó recientemente la tarifa para la electricidad proveniente de fuentes renovables e incrementó su precio de RM\$0,79 a 0,87 / kWh para promover la inversión.

En Colombia, estudios realizados recientes (Cenipalma, 2006) demostraron que existen algunas limitaciones para que el sector palmero comience a desarrollar proyectos de cogeneración que promuevan la optimización de los procesos y la venta de energía. Entre estas limitaciones se destaca el bajo precio de compra de la electricidad producida por parte de las distribuidoras, el alto costo de interconexión al sistema dada la localización geográfica y la necesidad de incentivos económicos para los industriales, tales como el precio de compra de la electricidad o una reducción de impuestos.

Procesamiento integrado

Como se mencionó, otra aproximación para la utilización de los desechos es la integración de la extractora con otras plantas de procesamiento dentro del mismo complejo. Los procesos posteriores como la extracción de aceite de palmiste y las refinerías pueden adaptarse particularmente para tal integración. Los costos de combustible, vapor y electricidad representan el mayor porcentaje siendo alrededor del 30 al 50% de los costos de

procesamiento. La integración también permite el compartimiento de otros servicios. Alguna reducción en la mano de obra puede ser esperada. Las principales limitaciones para la amplia aceptación de estos conceptos son:

La mayoría de las plantas extractoras operan entre 16 y 24 horas diarias, mientras que las refinerías y las plantas extractoras de aceite de palmiste lo hacen normalmente durante 24 horas. Las interrupciones en el proceso en las plantas extractoras son impredecibles. De este modo, será complicado para una refinería o una extractora de aceite de palmiste una dependencia en la planta extractora de aceite de palma para todos sus requerimientos de energía y algunas calderas para *stand-by* deberán ser instaladas. Una solución a este problema podría ser el almacenamiento de combustible para garantizar la operación durante las paradas de la extractora.

La mayoría de las extractoras están localizadas en áreas remotas que ofrecen pocas facilidades para el desarrollo industrial, además de recursos energéticos baratos.

El concepto de procesamiento integrado puede ser aplicado también para las refinerías de aceite de palma. El consumo combinado de vapor y electricidad de un complejo de refinación moderno que comprenda una planta de refinación física y una planta de fraccionamiento (algunas veces también complementada con extracción de aceite de palmiste o una planta oleoquímica) puede ser muy alto, permitiendo que sea considerado el transporte de combustible como los racimos vacíos desde diferentes plantas extractoras vecinas.

Certificados de reducción de emisiones (CER)

Un mecanismo que puede aportar a la superación de las barreras financieras en proyectos de infraestructura que reducen gases de efecto invernadero (GEI). El mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) cae bajo el Protocolo Internacional de Kyoto.

El MDL tiene dos metas como mecanismo de las Naciones Unidas; primero, comparte la meta con el Protocolo de Kyoto, que consiste en reducir la cantidad de emisiones de GEI a nivel

mundial; segundo, proveer el desarrollo sostenible en países “en vía de desarrollo”.

En el sector palmero existen varias oportunidades para implementar proyectos MDL y diversificar los ingresos de la planta. La alternativa más conocida en Colombia es la digestión anaeróbica, pero también existen posibilidades para generar electricidad renovable y calificar el proyecto como MDL. Actualmente existe un proyecto que ya fue aprobado por las Naciones Unidas y hoy está aplicando reducciones (Sahabat, cogeneración con los desechos de aceite de palma en Malasia).

Una empresa palmera que disminuye sus emisiones de GEI, en términos de CO₂, puede vender esta reducción a países desarrollados que estén obligados a emitir menos GEI, obteniendo beneficios económicos y ambientales.

El primer paso para evaluar un proyecto de este tipo es la cuantificación de la reducción de las emisiones actuales de los GEI y los requisitos y características que le permitan ser calificado como proyecto MDL, entre las cuales se encuentran las opciones de financiamiento, requisito indispensable para que se pueda avanzar. Sahabat fue calificado como un proyecto de energía renovable que utiliza biomasa y desplaza el CO₂.

El siguiente paso comprende la elegibilidad, cuyo principal factor es la adicionalidad; puesto que si el proyecto no cumple con la línea de base necesaria, se descarta como proyecto MDL y se frena el proceso. Si el proyecto cumple con los requisitos de elegibilidad, es decir, si tiene algo que no puede cumplir para realizarse sin la ayuda de los ingresos de certificados, entonces pasa a adicionalidad; Sahabat resultó elegible porque anteriormente estaban usando diésel para generar su energía y, en consecuencia, es posible tener una reducción del CO₂ que estaba produciendo.

Posteriormente se realiza un examen financiero de la reducción de emisiones. Si los ingresos de la venta de los CER resultan iguales o menores que los costos de transacción involucrados, la conclusión es que la inversión adicional no es viable. En caso contrario, es posible obtener la validación, el registro y la verificación en el primer año. Después viene la revisión de la metodología que se va a utilizar. Si el proyecto exige una nueva metodología, ello implica riesgos, costos, barreras y tiempos mayores, lo cual podría conducir a que este perdiera su atractivo; en otro caso, ello querría decir que existe suficiente experiencia MDL en el sector del proyecto para llevarlo a cabo sin mayores complicaciones, incluso si hubiera que implantar una nueva metodología.

Como se dijo antes, el monitoreo posterior al registro es el componente más importante del proyecto, porque Naciones Unidas entrega los certificados con base en las reducciones actuales; por eso es muy importante tener un plan de monitoreo bien diseñado, adecuado y detallado.

Luego de completar el proceso es posible realizar la venta de los Certificados de reducción de emisiones (CER) y adicionalmente recibir los ingresos correspondientes al uso y la comercialización de la energía generada a partir de las fuentes renovables.

Resumen proyecto MDL Sahabat (Malasia)

Reducción de emisiones	Categoría I.C., “Energía térmica para el usuario”
País	Malasia
Tamaño del proyecto - Capacidad instalada	7,5 MW
Reducción de emisiones por año	53.986 t CO ₂ equivalente
Costo del proyecto	Aprox. US\$6 M
Créditos de carbono	377.900

En este caso, si bien la inversión inicial del proyecto fue elevada, el número de créditos de carbono producidos, junto con los ingresos estimados por la comercialización de la energía, generan un tiempo de retorno de la inversión menor a siete años. Cabe resaltar que los precios para la tonelada de CO₂ equivalente reducida se encuentran en un continuo incremento, con lo que será posible una reducción considerable en los tiempos de retorno de la inversión para este tipo de proyectos.

En el mundo existe un gran número de proyectos MDL en diferentes industrias debido a la expectativa por el incremento de los precios de los CER y a la creciente preocupación ambiental.

Algunos proyectos desarrollados en el mundo bajo el concepto MDL

Biomasa	Brasil, El Salvador, Malasia, Tailandia
Digestión anaerobia	Tailandia, Filipinas, Nicaragua, Nepal, Chile
Rellenos sanitarios	Brasil, Chile, otros
Hidroeléctrica	Perú, Rumania, Guatemala, Chile, Fiji, Honduras, Sri Lanka

Energía eólica	Jamaica
Geotermia	Kenya, Nicaragua, Nueva Guinea
Gestión de residuos urbanos	Argentina, Filipinas
Biodiésel	Argentina, Malasia
Metano de minas de carbón	China, Rusia, Ucrania, Reino Unido
Eficiencia energética	Colombia, Rumania

Proyecto Sombrilla MDL del sector palmero colombiano

En Colombia, Fedepalma viene considerando la aplicación del MDL desde 2001, cuando lo introdujo como un área estratégica para el sector de palma de aceite. De este modo, lidera uno de los proyectos MDL más importantes en el mundial en favor del medio ambiente, llamado Proyecto Sombrilla MDL.

Este proyecto representa el deseo de 32 empresas con planta extractora de aceite de palma, de mitigar sus emisiones de gases contaminantes y de aprovechar el gas metano que se libera de las lagunas de tratamiento de las aguas residuales como combustible para la generación y/o cogeneración de energía para sus procesos productivos. La metodología aplicada permite la participación de las empresas en tres diferentes formas de mitigación y aprovechamiento del biogás proveniente de sus sistemas de tratamiento de la siguiente manera:

La Opción I corresponde a la captura y mitigación del metano mediante la quema el biogás en las calderas o en teas de alta eficiencia, con lo cual se mitiga el efecto contaminante que ocasionan las emisiones de metano a la atmósfera.

La Opción II corresponde a la mitigación del metano y del CO₂ al desplazar el diésel o el consumo de la red interna con la autogeneración de electricidad con biogás Utilizando plantas de generación diseñadas para operar con biogás filtrado.

La Opción III contempla el escenario máximo del MDL, al mitigar el metano, mitigar el CO₂, desplazar el uso de combustibles fósiles, cogenerar energía y vapor para el proceso y vender el excedente de energía, maximizando la reducción de emisiones de GEI y la generación de energía renovable.



Construcción de lagunas



Laguna carpada

El desarrollo del proyecto ofrece múltiples beneficios económicos al sector, al reducir o reemplazar completamente el consumo de combustibles fósiles, permitiendo el ahorro de compra y transporte de diésel de gran cuantía. En cuanto a los subproductos, los lodos que producen las lagunas contienen un alto porcentaje de nutrientes que se utilizan como abono orgánico y reemplazan una módica porción de los fertilizantes químicos para incrementar la productividad de la tierra.



Generación de calor y vapor

Cuenta en la actualidad con 32 plantas extractoras asociadas para su estructuración, formulación y aprobación en el marco del Protocolo de Kyoto, con un alcance de reducción de emisiones de GEI superior a las 500.000 toneladas por año.

Adicionalmente, la conformación del proyecto de esta manera tiene múltiples ventajas para los productores participantes:

Alto volumen de CER permite demandar mejor precio por ellos

En el mercado internacional de venta de Certificados, los compradores buscan fuentes que pueden generar un gran volumen anual. Esto les reduce los costos de transacción relacionados con la búsqueda de CER en el ámbito mundial. Proyectos que ofrecen grandes volúmenes de CER pueden obtener un mejor precio por cada uno, que proyectos pequeños.



Generación de energía

Un solo proyecto, un solo proceso de aprobación y registro, menos costos de transacción

El ciclo de actividades de un proyecto MDL bajo el marco regulatorio de Naciones Unidas es complejo y costoso. En lugar de hacerlo para cada empresa de manera individual –lo cual sería muy costoso– se hace como un solo gran proyecto, distribuyendo los costos de transacción entre todas las empresas participantes.

Economías de escala en la compra de equipos e insumos necesarios

La Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite puede ejercer poder de negociación en la compra de equipos e insumos para el proyecto, lo cual resultará en economías importantes para las empresas participantes. Por ejemplo, al hacer una licitación para comprar 20 plantas de generación con biogás, el costo por unidad saldrá mucho menor que el costo que tendría que pagar un productor individual.



Cogeneración y venta de electricidad a la red

En Colombia, Fedepalma está desarrollando el Proyecto Sombrilla MDL, ejerce el liderazgo y la representación de 32 empresas con plantas extractoras de aceite de palma.

Credibilidad permite demandar mejor precio

Compradores, que pueden incluir empresas de generación energética de Japón, Canadá o Europa, buscan fuentes de CER que representen credibilidad y capacidad. Fedepalma representa un alto nivel de credibilidad y seriedad. Lo que también influye en la disponibilidad para pagar por un flujo de Certificados, que se verá reflejado en mejores precios para el productor individual.

Durante el proceso de implementación, el Proyecto Sombrilla ha superado un gran número de las etapas requeridas por Naciones Unidas para su validación, dentro de las que se destacan: la definición de las características del proyecto, su adicionalidad y elegibilidad ante las modalidades y procedimientos de UNFCCC (Convenio macro de las Naciones Unidas sobre el cambio climático) para proyectos MDL incluidas en el Documento Diseño de Proyecto (PDD), la consulta social positiva a las comunidades palmeras, la opinión positiva a nivel mundial al haber estado publicado en la página de la UNFCCC por un período superior a un año y sin recibir ningún tipo de comentario negativo, la aprobación por parte de la Autoridad Nacional Designada, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y la validación positiva por parte de la Entidad Operacional Designada (DOE), *Det Norske Veritas* (DNV).

El siguiente paso es el registro del proyecto ante UNFCCC y la adecuación de los procesos, definidos en el PDD, por parte de cada una de las plantas de beneficio de aceite de palma involucradas en el proyecto.

Gasificación

La gasificación ha sido practicada desde finales de la década de 1930, tradicionalmente se buscaba convertir la biomasa en carbón activado y/o gas de síntesis mediante un proceso controlado de degradación térmica.

Las principales limitaciones de la gasificación eran el mantenimiento de estrictas condiciones de operación (temperatura, atmósfera controlada) y los elevados costos de instalación y operación de la tecnología, en especial para instalaciones con baja disponibilidad de biomasa.

La tecnología de la gasificación se ha vuelto importante en años recientes debido al aumento del costo de los combustibles fósiles y a las cada vez más estrictas regulaciones gubernamentales, lo cual hizo que se mejoraran las tecnologías, usando diferentes materias primas que varían en contenido calórico y pueden ser usadas en forma alternativa con eficiencia en la misma unidad.

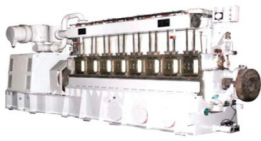
En la actualidad existe una nueva tecnología de gasificación que busca transformar la biomasa en gas combustible y generar energía eléctrica en grupos electrógenos alimentados por biogás. Comparado con la gasificación convencional, esta tecnología es estable, de bajo costo, muy eficiente y produce menos gases de invernadero (GEI). En este nuevo proceso, durante el período de la gasificación de la biomasa, el polvo y el alquitrán producido por la pirolisis y degradación térmica se presentan en forma de particulados.

Existe una nueva tecnología de gasificación que busca transformar la biomasa en gas combustible y generar energía eléctrica.

Los particulados del alquitrán son reconvertidos en alquitrán sólido, el cual, cuando se mezcla con los particulados de polvo del gas pueden bloquear las tuberías y dañar partes del motor de biogás, a menos que se limpie y se enfríe el gas y se le elimine el coque. Por tanto, es una tarea difícil gasificar la biomasa para producir la generación limpia de energía eléctrica, donde el retiro del polvo y de los particulados del alquitrán tiene que ser tomados en cuenta para evitar el daño a los motores de gas de los grupos electrógenos.

El principio de la operación del sistema consiste en la alimentación controlada de los desperdicios y el aire. El sistema gasifica eficientemente la biomasa con la apropiada recolección del alquitrán y el enfriamiento del biogás obtenido a través de un enfriador especial, eliminando la contaminación secundaria del agua y el gas. Por medio del tratamiento de enfriamiento, limpieza y la remoción del alquitrán, así como la reducción de la temperatura y eliminación del coque, se produce un biogás de producción conveniente para la generación eléctrica.

El objetivo principal de la conversión ecológica a través de la gasificación de la biomasa para la generación eléctrica esta basado en usar el mínimo de materia prima para obtener la máxima producción de biogás, eliminar eficientemente el polvo y el alquitrán del biogás producido, prevenir la contaminación secundaria cuando



Generador eléctrico operado con biogás

estos se eliminan, y hacer el transporte, la instalación, la operación y el mantenimiento tan fáciles como sea posible. El sistema también tiene la capacidad de utilizar las cenizas para producir fertilizantes y otros subproductos de valor agregado rentables tales como carbón activado y sílice, dependiendo del tipo de residuo agrícola usado. El calor producido se puede recuperar, si fuera necesario, para la producción de agua potable y/o vapor de proceso.

Composición del biogás producido con el nuevo proceso de gasificación

Componente	Concentración %v/v
CO	12-18
CO ₂	10-15
CH ₄	4-8
H ₂	3-7
C _n H _m	1-1,4
O ₂	0,5-1,2
N ₂	54-60

Los grupos electrógenos utilizados, los cuales son alimentados por biogás, tienen una capacidad de operación de 8.000 horas anuales, de 400 kilovatios a 500 RPM, 380- 400 voltios a 50 Hertz, o de 500 kilovatios a 600 RPM, 440 voltios a 60 Hertz. Los

Diferentes equipos del proceso



Recepción y manejo de la biomasa



Ciclón de cenizas



Gasificador y limpieza de biogás



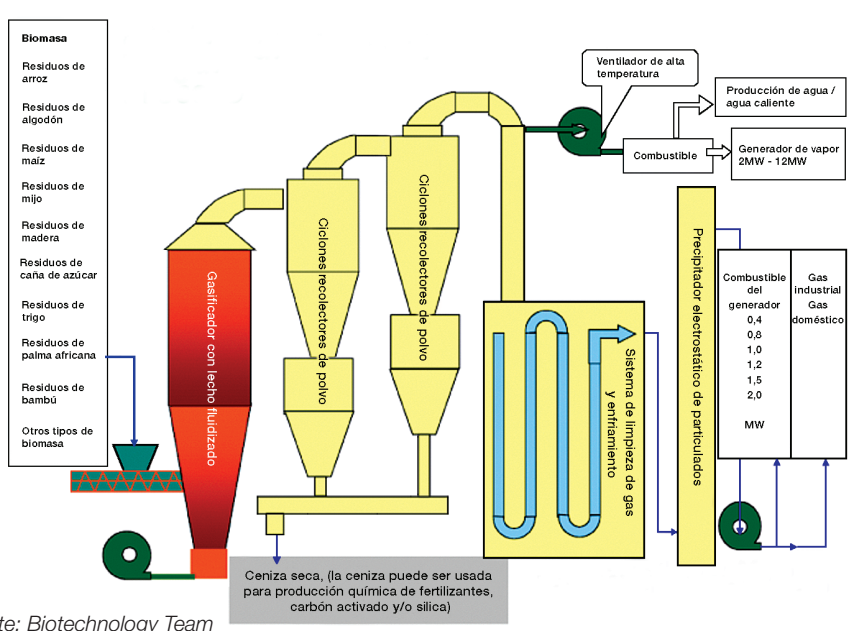
Grupo electrógeno de biogás

grupos generadores tienen controles electrónicos y están equipados para la operación manual o automática. Pueden ser sincronizados según sea requerido para capacidades totales de hasta 10 megavatios (MW) para la operación continua.

El diagrama de abajo muestra un esquema completo del proceso propuesto, incluyendo el gasificador de lecho fluidizado, la separación del material particulado y el sistema de limpieza y enfriamiento de gas junto con los diferentes usos que pueden ser dados para los diversos co-productos del proceso.

Este tipo de sistemas ha sido instalado con éxito en Centro y Norte América para trabajar con diferentes tipos de biomasa, siempre que este posea una humedad inferior al 20%, en el caso de la palma de aceite, solo las cáscaras poseen estas características. Actualmente existen diferentes procesos para el secado de los productos, desde los secadores con gases de las calderas, los secadores por fricción o la propia utilización de los gases calientes del gasificador.

Esquema de flujo del proceso de gasificación y generación de energía eléctrica





Capítulo 8

Extracción de aceite de palmiste

El palmiste o almendra de palma

Es un subproducto primordial de la planta de extracción de aceite de palma y una fuente importante de aceite láurico. La almendra de palma constituye cerca de 45 - 48% del peso de la nuez del fruto de la palma. En base seca la almendra contiene alrededor de 47 - 50% de aceite en peso.

Las características y propiedades del aceite de palmiste están más cerca de las del aceite de coco que del aceite de palma.

Hasta 1982 el porcentaje de almendra sobre RFF de la palma de aceite fue muy pequeño. El cambio en el que la composición del racimo de la palma de aceite incrementó la relación de almendra a racimo, en fruta Ténera, se le atribuye a la introducción del polinizador *Elaeidobius Kamerunicus*.



Tambor pulidor

Ahora existen dos métodos principales para la extracción del aceite de palmiste: i) mecánica, usando una prensa de tornillo o *expeller* y ii) extracción por solventes. Sin embargo, también se utiliza un tercer método que combina el pre-prensado, utilizado en algunas plantas de extracción mecánica, seguido de una extracción por solventes.

Almendra y cuesco recuperados
en un baño de arcilla



El principio, el diseño y la operación de la maquinaria para la extracción de aceite de palmiste es muy similar a lo empleado para otras semillas oleaginosas. Sin embargo, los procedimientos de operación o condiciones varían de una semilla a otra, dependiendo de las características del aceite.

Extracción mecánica del aceite de palmiste



Fábrica de prensas
de palmiste

La extracción mecánica del aceite de palmiste es adecuada para plantas de extracción tanto grandes como pequeñas. Este proceso antes se realizaba en tres etapas:

- Pretratamiento de las almendras
- Prensado en *expeller* de tornillo
- Clarificación del aceite de palmiste.

Anteriormente se consideraba que el pretratamiento era necesario para una extracción del aceite de palmiste eficiente, pero con los nuevos *expellers* no se requiere este, ni el cocinado de las almendras y, por ende, el uso de vapor. Hoy en la mayoría de las plantas de extracción de aceite de palmiste, el primer paso ya no se usa y pasan directamente al prensado al considerar este proceso obsoleto.



Rompedores de nuez tipo
Ripple Mill

A pesar de la aclaración anterior, nos referiremos al proceso incluyendo el pretratamiento.

Existe un nuevo método de extracción del aceite de palmiste que combina el pre-prensado, seguido de una extracción por solventes.

Pretratamiento de las almendras

Es necesario limpiar primero las almendras de todo material extraño, como pedazos de metal, piedras, fibra u otros materiales sólidos, utilizando un separador magnético y un tamiz vibratorio para evitar daños en los equipos de proceso en las diferentes operaciones, en especial en el prensado, paradas de planta y aumentos en los costos de mantenimiento.

Después, el palmiste se muele en pequeños fragmentos con un molino de martillos o de rodillos o una combinación de ambos, para facilitar la creación de hojuelas. Estos fragmentos se laminan en una laminadora de cilindros, para formar hojuelas delgadas, lo cual permite una extracción más eficiente del aceite, puesto que aumenta el área superficial. Las laminadoras pueden constar hasta de cinco grandes rodillos montados verticalmente, uno sobre otro, lo que permite que las partículas de palmiste que salen del molino de martillos, pasen cuatro veces por los rodillos y cada vez sean más delgadas y permita el inicio del rompimiento de las celdas que contienen el aceite. Estos rodillos giran entre 200 y 300 rpm y dependiendo de la capacidad de la planta pueden tener entre 20 y 40 cm de diámetro y un largo de 1 m. Las hojuelas de palmiste a la salida de los rodillos pueden tener entre 0,2 y 0,4 mm.

Las hojuelas de palmiste son transportadas a un calentador para acondicionamiento con vapor a unos 110°C, aproximadamente durante 40 minutos. Esta operación tiene como objetivos ajustar el contenido de humedad del palmiste a unos niveles óptimos cercanos al 4%, romper las paredes de las células que contienen el aceite, calentar este aceite en las celdas para reducir su viscosidad, coagular las proteínas en el palmiste para facilitar la separación del aceite de los materiales proteínicos y producir un material menos tosco para reducir el desgaste del tornillo de la prensa.

El calentador es un recipiente vertical, con camisa de vapor, dividido en varios compartimentos horizontales, el cual está colocado normalmente encima de la prensa de tornillo. Las hojuelas de palmiste que vienen de la sección de laminación, entran por la parte superior del cocinador y van bajando hasta el compartimento inferior y en cada etapa son movidas por un agitador que barre cerca del fondo. Mientras son agitadas las hojuelas, se van calentando

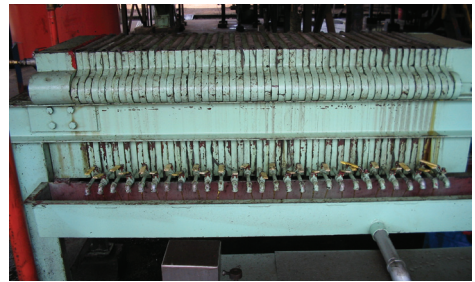


Silos de secado de almendra

en bandejas con vapor vivo inyectado, en cada compartimento, cuando sea necesario. Aquí se deben controlar la temperatura y la velocidad de agitación, dado que ambas afectan el tiempo de retención y la humedad resultante en las hojuelas de palmiste.

Prensado en *expeller* de tornillo

Las hojuelas de palmiste cocidas se trituran con prensas de tornillo sinfín, las cuales extraen el aceite de palmiste. Esta prensa consiste en un tornillo sinfín que gira dentro de un cilindro perforado en dos partes o canasta. La parte final de de la canasta es ajustada con un cono que restringe el orificio de descarga de la canasta. El aceite es forzado a salir por los orificios de la canasta por acción del giro del tornillo sinfín y la compresión que ejerce sobre el palmiste. La torta de palmiste se descarga por la abertura restringida, que se encuentra del otro lado de la prensa.



Izquierda. Expeller
Derecha. Filtro prensa

Clarificación del aceite de palmiste

El aceite turbio obtenido en la prensa contiene una cierta cantidad de sedimentos y finos que le dan un aspecto pardo y sucio. Este aceite es enviado a un recipiente de donde es bombeado a un tamiz vibratorio, en el cual gran parte de las partículas sólidas que vienen en el aceite turbio se separan. Las impurezas se recuperan y normalmente vuelven a la prensa donde se mezclan con las hojuelas de palmiste que entran. El aceite sedimentado se envía a un recipiente que lo envía a un filtro prensa, o del tipo Niágara, donde se clarifica completamente y se produce un aceite claro que es enviado al tanque de almacenamiento.

La torta de palmiste, que contiene a la salida entre 6 y 10% de aceite residual, es transportada para ser empacada en sacos o para almacenarla a granel. Un almacenamiento prolongado puede

ocasionar la aparición de hongos si no está bien ventilada y la humedad es mayor al 10%.

Como variaciones a esta extracción mecánica de aceite de palmiste existen el prensado directo y el prensado directo con un pretratamiento parcial, que consiste en el uso de un molino de martillos a la entrada de la prensa para producir fragmentos de palmiste que son alimentados luego directamente a las prensas para la extracción del aceite. Los pasos de laminado y cocido son omitidos.

En Malasia e Indonesia el doble prensado está generalizado y se usa en todas las plantas extractoras de aceite de palmiste, dado que consideran que es la única manera de asegurar una extracción eficiente del aceite de palmiste. En el primer prensado obtienen un residual de aceite cercano al 30%, que luego reducen entre 6 y 10% en el segundo prensado. En Colombia, varias plantas de extracción de aceite de palmiste trabajan solo un paso de prensado obteniendo residuales de aceite bastante cercanos a los anteriores.

Extracción por solventes del aceite de palmiste

La extracción por solventes del aceite de palmiste es más compleja, pero es también muy utilizada comercialmente. Este proceso está dividido en cuatro etapas:

- Pretratamiento de las almendras
- Extracción del aceite
- Recuperación del solvente de la micela
- Recuperación del solvente de la torta de palmiste.

La gran ventaja teórica del proceso por solventes consiste en su bajo residual de aceite en torta extractada y, por ende, su mayor extracción de aceite de palmiste.

Pretratamiento de las almendras

Este proceso es similar al presentado en la parte de extracción mecánica del aceite de palmiste, pero por lo general la parte de cocinado no se realiza.

Extracción del aceite

La operación básica de la extracción por solventes es el lixiviado del aceite desde las celdas que contienen el aceite al entrar en contacto con un solvente adecuado, que en general es el hexano.

Aunque existen comercialmente varios diseños de extracción, estos se pueden clasificar en dos grandes grupos, percolación e inmersión.

En la técnica de percolación, que es la preferida en Malasia, se aplica una extracción a contracorriente de las hojuelas de palmiste con hexano. El hexano es bombeado y percola a través de un lecho móvil de hojuelas. La micela, solución de aceite en solvente, enriquecida sale del lecho a través de una malla perforada. La velocidad para rociar el solvente y el movimiento del lecho de hojuelas de palmiste son controladas de tal manera que permita empapar justo lo suficiente y la filtración a través de la hojuelas.

Durante la operación el solvente fresco entra en el extractor en la sección de salida de la torta extractada. Esto permite al solvente percolar la mayor parte del aceite y producir una micela diluida que se mueve en la dirección opuesta al flujo de la torta, lo que permite tener una mayor extracción de aceite.

Este procedimiento es repetido y la micela se enriquece con aceite hasta que encuentra las hojuelas de palmiste que van entrando al extractor. Al salir la micela deja los finos que pueda llevar en la malla antes de entrar a la sección de recuperación de solvente. Por otro lado, la torta húmeda extractada es transportada al tostador donde se remueve el solvente.

Existen varios tipos de extractores que usan el principio anteriormente mencionado. Estos son los de cangilones deslizantes, el lecho corredizo, la cesta rotativa y la banda perforada de movimiento continuo.

En el proceso por inmersión, las hojuelas de palmiste se transportan a través de una piscina de solvente dentro de un transportador sinfín rotatorio y un elevador. La torta húmeda extractada sale del recipiente y se descarga en el tostador.



Recuperación de palmiste

Recuperación del solvente de la micela

La micela filtrada después del extractor contiene normalmente entre 17 y 20% de aceite de palmiste.

La recuperación del solvente se realiza en un proceso de dos etapas: evaporación y desalojo del solvente en vacío y alta temperatura. El hexano recuperado es devuelto al tanque de almacenamiento y recirculado al extractor.

La micela pasa del filtro a un precalentador y luego a uno o más evaporadores para limpiar la mayoría del solvente y obtener así una micela concentrada entre 65 y 85% de aceite. Estos evaporadores son calentados por el vapor de hexano caliente de la sección de tostado. Le sigue otra concentración cerca de 95% de aceite en hexano, en una columna vertical de bandejas y un lavado final de vapor vivo a contracorriente en vacío para retirar las últimas trazas de solvente.

En general, el residual de hexano en el aceite de palmiste es menor a 500 mg/kg. La mezcla de agua y hexano, producto del lavado final en las columnas, se condensa y el hexano es separado por gravedad en un recipiente de separación, es bombeado al tanque de almacenamiento y recirculado al extractor.

Recuperación del solvente de la torta de palmiste

La torta de palmiste desaceitada descargada del extractor contiene normalmente entre 30 y 35% de hexano. Es llevada por medio de un transportador cerrado a un tostador cilíndrico de múltiples bandejas con vapor, llamado desolventizador, donde es calentada con vapor vivo a una temperatura entre 100 y 110°C, para la remoción eficiente del solvente. La torta entra por la parte superior del tostador y es agitada suavemente por un agitador a baja velocidad en el recipiente.

El hexano es retirado por el calor de las bandejas con vapor en la parte inferior de cada compartimento. La torta, a medida que se mueve el tostador en forma descendente, va disminuyendo su contenido de hexano y la torta de palmiste sale con un residual entre 0,5 y 1% de hexano. Los vapores calientes de hexano son

Los costos de producción son más altos en el caso del proceso de extracción con solventes.

enviados a los evaporadores para la concentración de la micela. La torta descargada del tostador desolventizador es enviada luego a la planta de peletizaje por medio de un transportador con enfriamiento por aire. Es necesario peletizar la torta de palmiste para disminuir las pérdidas por finos y además para poder manejarla, transportarla y almacenarla en forma adecuada. Esta torta de palmiste sale del desolventizador con un residual de aceite cercano al 2% y una humedad entre 10 y 13%.

La extracción que combina el prepresado, seguido de una extracción por solventes, es aún usual en algunas plantas. El palmiste es prepresado, según el procedimiento explicado anteriormente, y se extrae parte del aceite, saliendo la torta con un residual entre el 15 y 20% de aceite. Luego se pasa por un proceso de extracción por solventes similar al ya explicado. Los dos aceites obtenidos por separado en ambos procesos, se mezclan para pasar por una clarificación.

Existen diversas opiniones en relación con el proceso más económico para la extracción de aceite de palmiste. Algunas sienten que la extracción directa por solventes es conveniente para semillas que contienen menos de 20% de aceite, mientras que el prepresado seguido por la extracción por solventes se utiliza para las semillas con alto contenido del aceite (que excede el 20%).

Para el caso de la extracción de aceite y torta de palmiste, el proceso por solventes es más eficiente en cuanto a mayor extracción de aceite. Sin embargo, factores como la capacidad de la planta de extracción de aceite de palmiste, inversión inicial, costos de producción y mantenimiento, distribución de ingresos, eficiencia del proceso y requerimientos de seguridad son las razones primordiales para la escogencia del proceso de extracción por parte del inversionista.

Los costos de producción son más altos en el caso de proceso de extracción con solventes debido a:

- Mayor consumo de energía y de vapor debido a la recuperación del solvente y a la peletización de la torta seca
- Costos adicionales por la pérdida de hexano
- Mayores costos en los equipos de seguridad y sistema contra-incendios por la alta inflamabilidad del hexano.

En la compra de materia prima para palmistería es importante analizar aspectos como acidez, impurezas, humedad, almendras rotas. La calidad del producto final depende de la calidad de la materia prima.

La comparación de los costos de inversión muestra que para una planta con extracción mecánica directa los costos de inversión serán menores que para los otros casos, mientras que los mayores costos corresponden a una planta de extracción de aceite de palmiste con extracción mecánica y preensado. La planta con proceso de extracción por solventes muestra unos costos mayores de inversión que la de extracción mecánica directa por los costos de instalación del tostador, almacenamiento de solvente y la peletizadora.

La decisión final dependerá, además de lo mencionado, de los precios relativos en el mercado del palmiste, el aceite de palmiste y la torta de palmiste; el uso de los productos finales, especialmente de la torta de palmiste y cómo afecta su mercado el residual de hexano; la facilidad de conseguir solventes y su precio, y de la eficacia de la operación esperada de la planta.

En el caso de las plantas que van a comprar palmiste para realizar la extracción en su planta, se debe tener siempre muy claro que la razón principal de los procesos es maximizar la extracción de aceite y torta del palmiste. Y dado que la calidad de los productos resultantes del proceso de extracción, que es básicamente físico, depende de la calidad de la materia prima, el comprador debe asegurar el montaje de un sistema de compra donde se busca recibir un buen palmiste. Por este motivo, es importante analizar aspectos como acidez, impurezas, humedad, almendras rotas, etc. y se debe montar un sistema de premios y castigos de acuerdo con la calidad del palmiste recibido.



Almacenamiento de torta de palmiste

Bibliografía

- Agamuthu, P. 1994. Composting of Goat Dung with Various Additives for Improved Fertilizer Capacity. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*. 10 (2):194-198.
- Agamuthu, P.; Choong, L.C.; Hasan, S.; Praven, V.V. 2000. Kinetic evaluation of composting of agricultural wastes. *Environmental Technology*. 21(2) 185-192.
- Allott, D.H.N.; Wong, I.C.H. 1977. Evolution of palm oil marketing from Malaysia. *In: International Developments in Palm Oil*, ed. D.A. Earp and W. Newall, 469-78. Kuala Lumpur.
- Amiruddin, M.N.; Ahmad, I. 1984. Prospects for palm oil in the Middle East and selected African countries. *In: Proceedings of the International Seminar on Market Development for Palm Oil Products*. Ed. Y. Basiron and K. G. Berger, 131-9. Kuala Lumpur.
- Arrieta, F.; Texeira, F.; Yáñez A., E. E.; Lora, S.E. 2007. Cogeneration potential in the Colombian palm oil industry. *Biomass & Bioenergy*. 31: 45.
- Beirnaert, A.; Vanderweyen, R. 1941. Contribution à l'étude génétique et biométrique des variétés d'*Elaeis guineensis* Jacquin. Publications de l'Institut National pour l'Étude Agronomique, *Série Scientifique 27*. Belgian Congo.
- Berger, K.G. 1983. *Palm oil*. *In Handbook of Tropical Foods*. Ed. Harvey T. Chan and Marcel Dekker, 447-56. New York.
- Berger, K.G.; Martin, S.M. 1988. *The Cambridge World History of Palm Oil*.
- Black A, T.; Castro H, L.F.; Fonseca F, F.; Morera Y, L. 2002. *Estudio de evaluación ambiental Proyecto de Desarrollo Alternativo de Palma Africana*. Contrato Principal USAID No C-00-01-00091-00, Municipio de Tibú, Norte de Santander - Colombia. Informe final preliminar. Bogotá D.C.
- Black A, T. 2004. *Estudio sobre prefactibilidad para la identificación y evaluación del potencial de generación de certificados de reducción de emisiones a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio para el sector palmero en Colombia*. Informe final. Bogotá D.C.
- Borja, R.; Banks, C.J. 1994. Kinetics of Methane Production from Palm Oil Mill Effluent in an Immobilized Cell Bioreactor Using Saponite as Support Medium. *Bioresource Technology*. 48 (3):209-214.

- Borja, R.; Banks, C.J.; Martin, A.; Khalfaoui, B. 1995. Anaerobic- Digestion of Palm Oil Mill Effluent and Condensation Water Waste - An Overall Kinetic-Model for Methane Production and Substrate Utilization. *Bioprocess Engineering*. 13(2):87-95.
- Borja, R.; Banks, C.J.; Khalfaoui, B.; Martin, A. 1996. Performance evaluation of an anaerobic hybrid digester treating palm oil mill effluent. *Journal of Environmental Science and Health Part A Environmental Science and Engineering & Toxic and Hazardous Substance Control*. 31(6):1379-1393.
- Camen, B. 2008. Gasificación ecológica de biomasa a electricidad. (en línea) www.bioenergyteam.com.
- CBIP and Modipalm Engineering SDN. BHD. 2008. *Commercialisation of Modipalm oil mills with continuous sterilization system*.
- Cenipalma. 2006. *Valoración de oportunidades para la cogeneración en el sector palmero colombiano*. Informe Final.
- Cogen (ASEAN). 2007. Cogeneration Development in ASEAN (en línea). www.cogen3.com
- Connil, P. 1997. La valorización de los subproductos de la planta de tratamiento de los efluentes de la extractora de aceite de palma "Palmar Santa Elena" en Tumaco, Colombia (en línea). www.biotec.net
- Connil, P. 2006. Nueva generación de biodigestores para efluentes de palma, energías renovables y certificados de carbono (en línea). www.biotec.net.
- Consultecnica S.A. 2006. Estudios, diseños y manejo ambiental y gerencia proyecto de la planta extractora de aceite de palma africana, Extractora Catatumbo, en el municipio de Tibú (Norte de Santander) para Promotora Hacienda Las Flores S.A. Bogotá D.C.
- Courade, G. 1977. *Les plantations industrielles d'Unilever au Cameroun*. Yaounde, Cameroon.
- Das, B. M. 1990. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 4ª ed. Thomson Learning, México.
- Department of Industrial Works and Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. 1997. *Environmental Management Guideline for the Palm Oil Industry Thailand*.
- Díaz R., O.M.; Castillo M., E.F.; Yañez A., E.E. 2005. *Estudio del nivel de dilución apropiado del licor de prensa en el proceso de extracción de aceite de palma, apoyado en el diseño y evaluación de un sistema de control automático*. Universidad Industrial de Santander. (Tesis de grado).
- Faulkner, O.T.; Lewis, C. J. 1923. Native methods of preparing palm oil. II. *Nigeria: Second Annual Bulletin of the Agricultural Department*, 3-10.
- Flottweg. 2007. *Centrifugas decanters en varios procesos para la elaboración de aceite de palma*. Wolfgang Steiger y Karl Rackerseder, Alemania.

- Franke, M. 1998. *Kompostierung von Ernteabfällen in den Tropen am Beispiel von Ölpalme und Zuckerrohr*. Verlag Ulrich Grauer (ed). Stuttgart.
- García, J.A.; Rueda, L. 2007. *Determinación de los parámetros básicos de diseño a escala piloto para los sistemas de recuperación de aceite tipo preclarificador en el proceso de extracción de aceite de palma*. Universidad de América. Bogotá D.C. (Tesis de grado).
- Goenadi, D.H.; Away, D.H.; Sukin, Y.; Yusuf, H.H.; Gunawan, A.P. 1998. Pilotscale composting of empty fruit bunches of oil palm using lignocellulosic-decomposing bioactivator. *In: Proceedings of 1998 International Palm Oil Conference Bali (Indonesia)*. September 23-25: 494-500.
- Hartley, C.W.S. 1988. *The oil palm (Elaeis guineensis Jacq.)*. 3th edition. London.
- Hassan, M.A.; Zin, N.M.; Malik, R.A.; Karim, M.I.A. 1997. Start-up and treatment of palm oil mill effluent with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Asia-Pacific Journal of Molecular Biology and Biotechnology*. 5(1):6-10.
- Kadir, W.R.; Ahmad, R; Kong, H.W.; Kostov, O.S. 2004. Amelioration of composting process by fertilizers. *Compost Science & Utilization*. 12(1):80-85.
- Keong, CY. 2005. Recovering renewable energy from palm oil waste and biogas. *Energy Sources*. 27 (7): 589-596.
- Leplae, E. 1939. *Le palmier à huile en Afrique: Son exploitation au Congo Belge et en Extrême-Orient*. Brussels.
- Lim Chan Lok. *The Use of Spherical Sterilizer for Sterilization of Fresh Fruit Bunches*. Tricol Engineering Sdn Bhd, Malaysia.
- Lim, K.H. 1989. Trials on composting EFB of oil palm with and without prior shredding and liquid extraction. *In: Porim International Palm Oil Development Conference*. September 5-9. Kuala Lumpur (Malaysia): 217-224.
- Ling-Hoak, O.; Keong-Hoe, L.; Khoon-San, C. 2007. Conversión de efluentes y tusas en fertilizante orgánico con cero desperdicio. *Palmas (Colombia)*, 28 (No. Especial), Tomo 2: 180-190.
- Lord, S.; Hoare, M.K.; Thompson, N.M. 2002. Composting for zero discharge - NBPOL's solution. Iopri (ed). Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *In: Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 244-255.
- Martin, S.M. 1988. *Palm oil and protest: An economic history of the Ngwa region, south-eastern Nigeria, 1800-1980*. Cambridge.
- Mc Laughlin, J. 2007. Oportunidades del MDL en el sector palmero. *Palmas (Colombia)* 28 (No. especial), Tomo 2:199-207.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater engineering treatment and reuse*. International edition McGraw Hill.

- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 1984. Decreto 1594 del 26 de junio de 1984. *Aguas superficiales, subterráneas, marinas y estuarias, uso del agua y residuos líquidos*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Desarrollo Económico. 2000. *Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS - 2000*. Bogotá D.C.
- Ministerio del Medio Ambiente. 1995. *Decreto 948 de 1995. Reglamento de Protección y Control de la Calidad del Aire*. Bogotá D.C.
- Miranda, H.; Schuchardt, F.; Wulfert, K.; Tjahjono, D. 2007. Manejo sostenible de efluentes y tusas en planta de beneficio de palma de aceite mediante un nuevo proceso. *Palmas* 28(No. Especial, Tomo 2):191-198.
- Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistente. Ley 400 de 1997. Decreto 33 de 1998 (NSR). Bogotá D.C.
- Northrup, D. 1978. *Trade without rulers: Pre-colonial economic development in south-eastern Nigeria*. Oxford.
- Chua, N.S.; Gian, H.F.; Chua, T.N.; Ngoi, S.H.; Teo, A.C. 2007. Environment-friendly and efficient Utilization of palm bio-renewable Energy in an integrated palm oil Processing complex. In: *Proceedings of the PIPOC 2007 International Palm Oil Congress (Chemistry & Technology)*. Kuala Lumpur.
- Nwanze, S.C. 1965. Semi-commercial scale palm oil processing. In : *Proceedings of Oil Palm Conference at Tropical Products Institute*, 63-6. London.
- Ooi Ling-Hoak; Loh Wai-Cheong; Chan Khoo-San; Shafie Muhd Zain; Hahrakbah Yacob; Vijayarajan Visuvalingam. 2007. *Treatment of Palm Oil Mill Effluent and empty Fruit Bunch by the Zero-Waste Zero-Discharge Boustead Biotherm Palmass Plant*.
- Peck, H.; Thornbur. 1994. *Ingeniería de cimentaciones*. 7ª reimpresión de la 1ª ed. (1982) Limusa Noriega Editores, México.
- Puetpaiboon, U.; Chotwattanasak, J. 1994. *Anaerobic treatment of palm oil mill wastewater under mesophilic condition*. Civil Engineering Department, Prince of Songla University, Thailand.
- Raof, A.A.; Ohashi, A.; Harada, H. 2005. Prospects of a new highrate reversible-flow anaerobic reactor (RABR) for the treatment of palm oil mill effluent (Pome). Pipoc 2005. In: *Proceedings Chemistry and Technology Conference*. September 25-29: 366-372.
- RSPO. 2005. Principios y criterios de la RSPO para la producción del aceite de palma sostenible (en línea). Versión 3. www.sustainable-palmoil.org
- RSPO. 2005. RSPO Factsheet 20 (en línea). www.sustainable-palmoil.org
- Reyes L, F.A. 2003. Diseño racional de pavimentos, 1ª ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá.

- Saletes, S.; Siregar, F.A.; Caliman, J.P.; Liwang, T. 2004. Lignocellulose composting: Case study on monitoring oil palm residuals. *Compost Science & Utilization*. 12(4): 372-382.
- Schuchardt, F.; Susilawati, E.; Guritno, P. 1998. Influence of C/N ratio and inoculum upon rotting characteristics of oil palm empty fruit bunch. *In: Proceedings of 1998 International Palm Oil Conference Bali (Indonesia)*. September 23-25:501-510.
- Schuchardt, F.; Susilawati, E.; Guritno, P. 1999. Trials about composting of solid wastes from palm oil mills in Indonesia. *In: International Conference Orbit 99*. September 2-4. Weimar (Germany):155-164.
- Schuchardt, F.; Wulfert, K.; Damoko, D.; Darmosarkoro, W.; Sutara, E.S. 2001. Feasibility study on full-scale plants for treatment of waste water and solid waste from palm oil mills. *In: Anon. Indonesian Oil Palm Research Institute (Iopri)*. Medan (Indonesia).
- Schuchardt, F.; Darnoko, D.; Guritno, P. 2002. Composting of empty oil palm fruit bunch (EFB) with simultaneous evaporation of oil mill waste water (Pome). Iopri (ed). Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *In: Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 235-243.
- Schuchardt, F.; Wulfert, K.; Darnoko, D. 2002. A new, integrated concept for combined waste (EFB) and waste water (Pome) treatment in palm oil mills - Technical, economical and ecological aspects. Anon. Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. *In: Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. July 8-12. Nusa Dua Bali (Indonesia): 330-343.
- Schuchardt, F.; Wulfert, K.; Damoko, D. 2005. New process for combined treatment of waste (EFB) and waste water (Pome) from palm oil mills - Technical, economical and ecological aspects. *Landbauforschung Volkenrode*. 55(1):47-6.
- Schuchardt, F.; Wulfert, K.; Darnoko, D.; Herawan, T. 2007. *Effect of New Palm Oil Mill Processes on the EFB and POME Utilisation*.
- Shirai, Y.; Wakisaka, M.; Yacob, S.; Hassan, M.A. 2005. Sustainable palm biomass industry by Pome Utilization. Anon. Pipoc. *In: Proceedings Chemistry and Technology Conference*. September 25-29:357-365.
- Sivasothy, K.; Halim Rohaya, M.; Yu Hwa Tan; Poh Weng Wong; Ramani, R. 2003. *Esterilización continua de racimos de fruta fresca de palma de aceite*. Malaysian Palm Oil Board (MPOB), CB Industrial Product Sdn. Bhd y Kumpulan Guthrie Berhad. Kuala Lumpur.
- Sivasothy, K.; Rohaya Mohd Halim; Basaron, Y. 2003. *A new system for continuous sterilization of oil palm fresh fruit bunches*. Malaysian Palm Oil Board (MPOB). Kuala Lumpur.

- Sivasothy, K.; Rohaya, M.; Halin Tan; Yu Wah Wong; Poh Weng Ramani, R. 2004. Esterilización continua de racimos de fruta fresca de palma de aceite. *Palmas* (Colombia) 25 (No. especial) Tomo 1: 83-89.
- Suhaimi, M.; Ong, H.K. 2001. Composting empty fruit bunches of oil palm [online]. in < <http://www.fftc.agnetorg/library/article/eb505a.html>>
- Tay, J.H. 1991. Complete Reclamation of Oil Palm Wastes. *Resources Conservation and Recycling*. 5(4):383-392.
- Thambirajah, J.J.; Zulkali, M.D.; Hashim, M.A. 1995. Microbiological and biochemical changes during the composting of oil palm empty fruit bunch; Effect of Nitrogen supplementation on the substrate. *Bioscience Technology*. 52:133-144.
- Theo, C.H; Chia, C.C. 1993. Waste or by-product - The recycling aspects of oil palm cultivation and palm oil processing. Sukaimi Jeal (ed). In: *Porim International Palm Oil Congress*. Palm Oil Research Institute of Malaysia: 90-114.
- Ugoji, E.O. 1997. Anaerobic digestion of palm oil mill effluent and its utilization as fertilizer for environmental protection. *Renewable Energy*. 10(2-3):291-294.
- UTEC. 2007. *Zero waste study for POM Monte Palma*. Bremen, Germany.
- Vanderyst, R.P.H. 1920. La technique indigène de récolte des fruits de l'*Elaeis*. *Bulletin Agricole du Congo Belge* 11: 22-35.
- Weng, W.P.; Kandiah, S. 2007. Emerging trends in palm oil milling technology. In: *Proceedings of the PIPOC 2007 International Palm Oil Congress (Chemistry & Technology)*. Kuala Lumpur.
- Wong Poh Weng; Sivasothy K. 2007. *Emerging Trends In Palm Oil Milling Technology*. Concept Symphony Sdn. Bhd. and Malaysian Palm Oil Board (MPOB). Kuala Lumpur.
- Wulfert, K; Darnoko, D; Tobing, PL; Yulisari, R; Guritno, P. 2002. Treatment of Pome in anaerobic fixed bed digesters. Anon. Enhancing oil palm industry development through environmentally friendly technology. In: *Proceedings of Chemistry & Technology Conference*. Nusa Dua Bali (Indonesia) July 8-12: 265-275.
- Yacob, S.; Hassan, M.A.; Shirai, Y.; Wakisaka, M.; Subash, S. 2005. Baseline study of methane emission from open digesting tanks of palm oil mill effluent treatment. *Chemosphere*. 59(11):1575-1581.
- Yusoff, S. 2006. Renewable energy from palm oil e innovation on effective utilization of waste. *Journal of cleaner production* 14:87-93.
- Zumaeta, N.; Agudelo, M.; Castro, N.; González, J. 2000. *Clarificación de aceite de palma usando campos eléctricos de alta intensidad*. Facultad de Ingeniería, Universidad de la Sabana, Bogotá D.C.

Glosario

AGL	Ácidos grasos libres
CER	Certificado de reducción de emisiones
CCM	Centro de control de motores
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DNV	Det Norske Veritas
DOE	Entidad Operacional Designada
DQO	Demanda química de oxígeno
FAO	Organización de Alimentos y Agricultura de las Naciones Unidas
GEI	Gases de efecto invernadero
GPS	Sistema de posicionamiento global
MDL	Mecanismo de desarrollo Limpio
MPOB	Malaysian Palm Oil Board
NBD	Neutralizado, blanqueado y deodorizado
NIFOR	Instituto de Nigeria para la Investigación en Palma de Aceite
PC	Computador personal
PDD	Documento diseño de proyecto
PLC	Controlador lógico programable
POME	Efluente de las plantas extractoras
RE	Energía renovable
RFF	Racimo de fruto fresco
RBD	Refinado, blanqueado y deodorizado
RSPO	Mesa Redonda sobre Aceite de Palma Sostenible (del inglés)
SREP	Programa para energía renovable en pequeña escala
UASB	Reactores de flujo ascendente (del inglés)
UNDP	Programa de Desarrollo de Naciones Unidas
UNFCCC	Convenio macro de las Naciones Unidas sobre el cambio climático

Contenido

Introducción		3
Capítulo 1	¿Por qué adoptar procesos modernos en plantas extractoras de aceite de palma?	7
	Breve desarrollo histórico de las plantas extractoras de aceite en Colombia y Latinoamérica	8
	Exigencias ambientales, energéticas y otras del mundo actual	11
	Tendencias de las plantas extractoras para adaptarse a las exigencias actuales	13
Capítulo 2	Proyecto moderno de una planta extractora de aceite de palma	15
	Aspectos para considerar en la preparación de un proyecto	16
	Aspectos modernos para un proyecto	19
	Estudios, diseños preliminares y obras de adecuación	20
Capítulo 3	Descripción específica de cada sección del proceso	29
	Evolución de extracción de aceite de palma	30
	Recepción de racimos de frutos frescos (RFF)	40
	Esterilización	41
	Desfrutación	51
	Extracción	52
	Clarificación	53
	Desfibración y palmistería	62
Capítulo 4	Servicios industriales	65
	Captación y tratamiento de aguas	66
	Generación de vapor	72
	Generación de energía eléctrica	79
	Servicios de logística y comunicación interna	83

Capítulo 5	Sistemas de control de una planta extractora	85
	Cuarto centralizado de motores	87
	Automatización y monitoreo	87
	Supervisión y control desde cuarto de mando	91
	Control e indicadores de proceso y eficiencia	91
	Control de calidad	96
Capítulo 6	Mantenimiento predictivo y preventivo de una planta	99
	Una ventaja en el mercado global	100
	Programa de mantenimiento preventivo y predictivo	104
	Sistemas de contratación del mantenimiento	109
Capítulo 7	Manejo de subproductos	113
	Biogás	114
	Compostaje de efluentes y racimos vacíos	117
	Generación energía	123
	Certificados de reducción de emisiones (CER)	128
	Gasificación	133
Capítulo 8	Extracción de aceite de palmiste	137
	El palmiste o almendra de palma	138
	Extracción mecánica del aceite de palmiste	139
	Extracción por solventes del aceite de palmiste	142
Bibliografía		147
Glosario		153



EXTRACCIÓN

CLARIFI



ISBN: 978-958-98341-2-1



9 789589 183412 1

Federación Nacional de
Cultivadores de Palma de Aceite

Carrera 10A No. 69A-44
Bogotá D.C. - Colombia

www.fedepalma.org