

Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas

Departamento de Ingeniería Química

Facultad Química- Farmacia



TRABAJO DE DIPLOMA

Título: “Evaluación tecnológica de la planta de moldeados de celulosa de Jatibonico”.

Autor: Julio Cesar Díaz Barro

Tutores: Dr. C. Juan Pedro Hernández Touset

Ing. Rolando López Concepción

Consultante: Dr. C. Agustín García Rodríguez

Curso 2016-2017

Pensamiento

“De las cosas que tienes, escoge las mejores y después medita cuán afanosamente las hubieras buscado si no las tuvieras”.

Marco Aurelio

Dedicatoria

A mi mamá y mi abuela por todo su amor y sacrificio incondicional.

*A mi abuelo Mayo que, aunque no se encuentre físicamente, fue mi padre y
sostén todo el tiempo.*

A mis tías María y Aracelis por ser las mejores tías del mundo.

*A mi novia por todos esos momentos buenos y malos que compartimos juntos
desde el primer día de curso que nos llevó a donde estamos hoy.*

Agradecimientos

A mi madre por ser tan amorosa, dedicada y responsable, por estar presente cada vez que lo necesité, por todas esas veces que me empujaba por el camino correcto y yo creía que estaba equivocada, gracias a ti fue posible llegar, muchos besos, te quiero mucho.

A mis abuelos Mayo e Inés, mis abuelos bellos, gracias a ellos nunca me faltó nada, desde pequeño estuvieron ahí para darme la mano en cada paso que di.

A mis tías María y Aracelis por su ayuda y apoyo durante toda mi vida.

A mi novia, por su amor, comprensión, dedicación y su gran amistad durante el transcurso de este viaje por la vida universitaria.

A mi prima Ailyn que nunca me faltó su buen consejo.

A mi primo (casi sobrino), Diago Antonio por llegar y convertir el día más aburrido en una fiesta.

A mi tutor Juan Pedro por su apoyo y total entrega en la realización de este trabajo.

A mi papá que a pesar de no ser muy cercanos sigue siendo mi padre.

A Nury por dedicar su tiempo a escucharme cada vez que estaba aburrido.

A Yedier y Carlos por ser mis mejores amigos en este mundo magnífico que es la universidad.

A los muchachos del cuarto que desde que llegamos estamos construyendo buenas historias, a todos un abrazo bien grande, gracias por estos cinco años inolvidables.

A todos mi familiares y amigos que de una forma u otra me dieron su apoyo, sabiduría y dedicación.

A todos mis compañeros de aula por compartir tanto los buenos como los malos momentos en estos inolvidables cinco años.

A los profesores que directa o indirectamente influyeron en mi formación como profesional.

A las personas de la empresa que dedicaron parte de su preciado tiempo para la realización de este trabajo.

A todos muchas gracias

Resumen

La planta de fabricación de moldeados de celulosa de reciente puesta en marcha presenta riesgos técnicos potenciales asociados al proceso de transferencia tecnológica, que pueden limitar los beneficios económicos y los indicadores de eficiencia del proceso. El objetivo del presente trabajo es evaluar la tecnología de producción de moldeados de celulosa mediante la aplicación de un modelo de evaluación tecnológica. El modelo incluye la aplicación de los balances de agua y fibra, de calor y de energía mecánica, la evaluación del diseño y de la operación de los principales equipos del proceso, tales como el horno y secador de túnel, la torre de enfriamiento y el sistema de flotación por aire disuelto; el sistema de tuberías con el uso de los software DesDaf y dP y la evaluación del proceso con el simulador TIBCO Business Studio, el cual facilita la emisión de criterios técnicos y económicos que contribuyen a la toma de decisiones. La aplicación del modelo hizo posible la verificación de la magnitud de las variables de diseño y de operación definidas en los documentos de la planta; la identificación de las deficiencias potenciales de la tecnología y la propuesta de correcciones con la correspondiente evaluación económica.

Abstract

The recently commissioned cellulose moulding plant presents potential technical risks associated with the technology transfer process, which may limit the economic benefits and the process efficiency indicators. The objective of the present work is to evaluate the technology of production of moulded cellulose through the application of a technology assessment model. The model includes the application of water and fiber, heat and mechanical energy balances, evaluation of the design and operation of the main process equipment, such as oven and tunnel dryer, cooling tower and dissolved air flotation system; piping system with the use of the DesDaf and dP software and the evaluation of the process with TIBCO Business Studio simulator, which facilitates the emission of technical and economic criteria that contribute to the decision making process. The application of the model made possible to verify the magnitude of the design and operating variables defined in the plant documents; the identification of potential technology deficiencies the proposal of corrections with the corresponding economic evaluation.

Índice

Introducción.....	¡Error! Marcador no definido.
Capítulo I. Análisis bibliográfico	4
1.1 Generalidades sobre procesos de fabricación de moldeados de celulosa	4
1.1.1 Productos, usos y producción	4
1.1.2 Antecedentes de la industria celulósica en Cuba y fundamentación de la nueva inversión	5
1.2 Utilización del papel reciclado como materia prima para la fabricación de moldeados de celulosa	6
1.3 Principales operaciones en el sistema de preparación de pastas para la fabricación de moldeados de celulosa a partir de papel reciclado	7
1.4 Equipamiento utilizado para realizar la preparación de pastas en fábricas de moldeados de celulosa a partir de papel reciclado	8
1.4.1 Transportadores de paca	8
1.4.2 Hydropulper	9
1.4.3 Separadores de impurezas y depuradores presurizados	9
1.4.4 Hidrociclones	10
1.5 Conceptualización y objetivos de la evaluación de tecnologías	10
1.6 Análisis de los estudios, procedimientos y metodologías para la ET	12
1.7 Torres de enfriamiento	15
1.7.1 Clasificación de las torres de enfriamiento:.....	16
1.7.2 Ventajas de las torres de enfriamiento de tiro inducido	16
1.7.3 Desventajas de las torres de enfriamiento de tiro inducido:	16
1.8 Sistemas de gestión de agua en la industria de pulpa y papel	17
1.8.1 Usos del agua.....	17
1.8.2 Gestión del agua en el cierre de circuitos de aguas blancas.	19
1.8.3 Alternativas más frecuentes para el cierre de circuitos de aguas.	20
1.8.4 Tecnologías de cierre de circuitos de agua en la industria del papel, moldeados y cartón.....	21
1.8.5 Sistema de flotación por aire disuelto (FAD).....	22
1.8.5.1 Ventajas y desventajas de la flotación por aire disuelto	22
1.8.5.2 Parámetros principales en el sistema de FAD	24
1.8.5.3 Problemas de operación que pueden presentar el equipo FAD	25
1.9 Generalidades sobre secaderos	25

Índice

1.10 Generalidades sobre el software TIBCO Business Studio™	29
Conclusiones parciales	29
Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica.....	30
2.1 Introducción.....	30
2.2 Descripción de la estrategia de evaluación tecnológica.....	30
2.2.1 Paso 1: Preparación	30
2.2.1.1 Establecimiento de los compromisos de la organización	30
2.2.1.2 Conformación del equipo de trabajo	32
2.2.1.3 Preparación del personal	32
2.2.2 Paso 2: Definición del contexto de la evaluación	33
2.2.3 Paso 3: Caracterización de la instalación industrial y las tecnologías propuestas a implementar.....	33
2.2.4 Paso 4: Definir origen de las deficiencias asociadas a las tecnologías.....	34
2.2.5 Paso 5: Identificación de las deficiencias tecnológicas	34
2.2.6 Paso 6: Aplicación opcional del Análisis Complejo de Procesos (ACP)	35
2.2.7 Paso 7: Determinar la necesidad de adquirir una nueva tecnología.....	35
2.2.8 Paso 8: Selección y aplicación de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso.....	35
2.2.8.1 Evaluación tecnológica ambiental (ETA).....	35
2.2.8.2 Evaluación de equipos y sistemas auxiliares	36
2.2.8.3 Evaluación del proceso.....	42
2.2.9 Paso 9: Análisis de los resultados de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso.....	44
2.2.10 Paso 10: Definición y corrección de las deficiencias del proyecto.....	44
2.2.11 Paso 11: Evaluación técnico - económica de la tecnología.....	45
2.2.12 Paso 12: Proyecto de inversión.....	47
Conclusiones parciales	47
Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica	49
3.1 Introducción.....	49
3.2 Aplicación de la estrategia de evaluación tecnológica en la planta de moldeados de celulosa de la UEB Jatibonico	49
3.2.1 Preparación.....	49
3.2.2 Definición del contexto de evaluación.....	51

Índice

3.2.3 Caracterización de la instalación industrial y de la tecnología adquirida	51
3.2.3.1 Descripción de la variante tecnológica y sus esferas de utilización.....	52
3.2.4 Selección y aplicación de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso	53
3.2.4.1 Evaluación Tecnológica Ambiental (ETA).....	53
3.2.4.2 Evaluación de equipos y sistemas auxiliares	54
3.2.4.3 Evaluación del proceso.....	71
3.2.5 Análisis de los resultados de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso	78
3.2.5.1 Definición de las deficiencias tecnológicas asociadas al proceso de transferencia.	79
3.2.6 Resultados de la evaluación técnico – económica del equipo seleccionado	80
Conclusiones parciales	82
Conclusiones generales	84
Recomendaciones	85
Bibliografía	86
Anexos	89

Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías industriales es uno de los principales retos que enfrenta el país hoy en día en aras de lograr una disminución de importaciones y a la vez promover las exportaciones, estas últimas de vital importancia para el desarrollo económico.

Es apreciable la cantidad de instalaciones de procesos químicos introducidos en el país a través de los diversos mecanismos de transferencia tecnológica, que han operado ineficientemente, desde el propio inicio de sus operaciones, con comportamientos anómalos y sin la adecuada proyección de las innovaciones tecnológicas. Esta situación es atribuible en un alto grado a una insuficiente información tecnológica previa y a la recepción y explotación de la tecnología sin una consecuente aplicación de herramientas ingenieriles.

Las diversas producciones de la pulpa y el papel tienen una amplia utilización en muchas ramas de la industria y de la vida, por lo que el desarrollo de la tecnología de esta producción está indisolublemente ligado al desarrollo de la sociedad.

El antiguo Combinado de Papeles Blancos en Jatibonico, Sancti Spíritus se encuentra paralizado desde los años 90. La entidad muestra ligeros avances en cuanto a la reconversión tecnológica e incorporación de nuevas tecnologías, pues la misma estuvo inmersa desde el año 2012, hasta la puesta en marcha de la planta en el 2016, en un proceso inversionista que constó del montaje de la nueva y moderna planta de moldeados de celulosa, debido a la importancia extrema que tiene para el país la sustitución de importaciones, además que ofrecerá garantías de abastecimiento de bandejas para huevos, vital en la seguridad alimentaria de la nación.

En este sentido surge la necesidad de elaborar un programa de desarrollo que permita satisfacer la demanda de los clientes, incrementar el aprovechamiento de la capacidad instalada, aumentar la calidad de las producciones, reducir los costos, crear nuevas capacidades y proteger el medio ambiente.

La planta de moldeados de celulosa, de reciente puesta en marcha, cumple con la política económica del país, especialmente en cuanto a la sustitución de importaciones y fomento de las exportaciones y a desarrollar las industrias productoras de envases y embalajes a partir de una concepción integral de la actividad.

El proyecto de la planta se concibió con el objetivo de satisfacer la demanda total de la región Centro-oriental del país y parte de la región Occidental. El 54% de la demanda de producción-recolección de huevos, está ubicado en las provincias centrales y orientales, que

Introducción

en su comercialización-distribución son abiertas y cerradas, evitándose el traslado del producto.

La planta de moldeados de celulosa adquirida a la compañía danesa Hartmann Technology construida en el período 2015-2016 en instalaciones del antiguo combinado de papeles blancos de Jatibonico es el resultado de un proyecto de estudios de factibilidad técnico-económica que incluyó tres firmas líderes internacionales en fabricación de moldeados de celulosa.

En un estudio previo se aplica un modelo de evaluación tecnológica para seleccionar una tecnología de producción de moldeados de celulosa a partir de la evaluación de dos tecnologías de compañías líderes en la fabricación de moldeados de celulosa, con información mínima de los proyectos, a través de un indicador global basado en el uso de la lógica difusa compensatoria. En el presente estudio se valida el modelo para la evaluación de una de las tecnologías cuyo proyecto fue ejecutado y se encuentra en la etapa de puesta en marcha, y en proceso de asimilación tecnológica.

Problema científico:

La planta de fabricación de moldeados de celulosa de reciente adquisición y puesta en marcha presenta riesgos técnicos potenciales asociados al proceso de transferencia tecnológica, que pueden limitar los beneficios económicos y los indicadores principales de eficiencia del proceso sin una consecuente y activa evaluación de la tecnología.

Hipótesis:

Mediante la aplicación de un modelo para la evaluación de la tecnología de producción de moldeados de celulosa es posible identificar y corregir deficiencias asociadas a la transferencia de la tecnología, minimizar los gastos de recursos materiales y financieros asociados a las deficiencias, contribuir a la adaptación de la tecnología a las condiciones nacionales con una consecuente reducción de los riesgos técnicos, económicos y ambientales.

Objetivo general

Evaluar la tecnología de producción de moldeados de celulosa mediante la aplicación de un modelo de evaluación tecnológica.

Objetivos específicos

Introducción

1. Realizar análisis bibliográfico sobre tecnologías de producción de moldeados de celulosa.
2. Realizar una evaluación técnica del proceso y del equipamiento seleccionado mediante el uso de métodos tradicionales de la ingeniería de procesos y herramientas computacionales.
3. Identificar las deficiencias tecnológicas.
4. Proponer las modificaciones en la tecnología.
5. Estimar la rentabilidad del proyecto de inversión de las modificaciones propuestas a la tecnología.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

Capítulo I. Análisis bibliográfico

1.1 Generalidades sobre procesos de fabricación de moldeados de celulosa

La presión del mercado sobre los plásticos en los años 90 produjo un incremento en la producción de pulpa moldeada para usos muy variados, que van desde bandejas para productos alimenticios hasta soportes y protectores de elementos y herramientas pesadas. Estos productos constituyen, a la fecha, los únicos provenientes de materiales fibrosos papeleros que se forman en tres dimensiones. Sin embargo, constituye uno de los sectores menos documentados de la industria celulósica, tanto desde el punto de vista tecnológico como de comercialización.

La pulpa moldeada, también llamada celulosa moldeada, es conocida desde los años 30 como bandeja o estuche para huevos, la que sigue siendo hoy en día su aplicación más representativa. Su uso se diversifica a partir de la década del 90 con la aparición de nuevos productos. Es así que se presenta como una solución de embalaje o de acondicionamiento indiscutible para muchos productos alimenticios y para productos de gran consumo e industriales. Habitualmente se fabrican a partir de papeles y cartones reciclados, agregándose al balance positivo de su ciclo de vida su carácter biodegradable y 100 por ciento reciclable.

Aunque cada vez es más expandido el uso de los productos moldeados, estos no cuentan con una categoría propia que los distinguan de otros productos obtenidos a partir de fibras papeleras, y difícilmente se encuentran discriminados en estadísticas de producción, comercialización y consumo (Gavazzo, 2008).

Desde el punto de vista científico, estos productos reúnen la problemática asociada a dos grandes grupos del conocimiento: la fabricación de un producto a partir de fibras papeleras y la evaluación de un producto utilizado en embalaje. Además, es importante agregar que las materias primas, la tecnología de producción y los distintos productos finales han sido muy poco estudiados.

1.1.1 Productos, usos y producción

1. Distribución y embalaje de alimentos, en bandejas y estuches para huevos, bandejas para frutas, cajas para pizza, bandejas para productos varios; bases y bandejas para vinos.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

2. Productos especializados, como, por ejemplo: macetas de germinación y recipientes médicos desechables;
3. Embalaje de productos de distintos tamaños y formas: productos moldeados que encajan perfectamente en el envase (embalaje de elementos informáticos, herramientas y lámparas), o utilizando pequeñas piezas moldeadas como material de relleno.
4. Embalaje de restauración, como, por ejemplo, platos, bandejas para vasos, bandejas para entradas.

De todas estas funciones, las formas más utilizadas y conocidas se encuentran en el sector de los embalajes, donde cumplen la función de proteger un producto durante su transporte y manipulación.

Una pieza moldeada destinada a contener un producto, es un material formado en compartimientos para inmovilizarlo y amortiguar los golpes y las vibraciones. Además, pueden destacarse otras propiedades de las pulpas moldeadas según su uso. Por ejemplo, los estuches y maples para huevos ayudan a preservar la temperatura de los mismos y absorben el exceso de humedad; el diseño de las bandejas para frutas evita el roce entre ellas y la celulosa moldeada absorbe el exceso de humedad generado por la fruta o el proveniente de la condensación formada por cambios bruscos de temperatura, reduciendo el peligro de multiplicación de hongos y bacterias (Gavazzo, 2008).

Otras características de las bandejas utilizadas con comestibles son su resistencia en húmedo, lo que permite desembalar los alimentos que liberan humedad sin romperse, y su porosidad, la que permite el paso del oxígeno manteniendo los productos frescos por más tiempo.

1.1.2 Antecedentes de la industria celulósica en Cuba y fundamentación de la nueva inversión

En el año 1979 se inició la producción de bandejas para huevos en nuestro país, con el montaje de la planta de moldeados de celulosa de Calabazar, Ciudad de la Habana, cuyo equipamiento le fue comprado a la firma canadiense EMERY. Esta planta, concebida inicialmente para producir 50 millones de bandejas, alcanzó una producción máxima de 49 millones en el año 1989. No obstante, los años de explotación en condiciones difíciles, hicieron que su estado técnico productivo se fuera degradando, hasta provocar su

Capítulo I. Análisis bibliográfico

paralización total durante los meses de enero, febrero y marzo de 2007. Al ser esta la única planta existente en el país, su paralización motivó la importación urgente de bandejas (3000.0 MU), con una excesiva erogación de divisas dado el carácter apremiante de la adquisición y las lógicas demoras que todo este accionar llevan implícitos. (252.3 MUSD) (S/A, 2012).

Ante los aumentos de la producción de huevos que se proyectan para los próximos años, así como la necesidad imperiosa de no rotar la bandeja (Certificado por Juan Carlos Reyes Robaina, Subdirector de Logística del UECAN, en carta del 9/11/2011), evitando así el riesgo de contaminación con la influenza aviar, salmonella y otras enfermedades, la demanda proyectada de bandejas generaría un déficit del producto que habría que cubrir con una nueva planta. En este sentido se propone la realización del proyecto de planta para fabricar bandejas para huevos, con el objetivo de satisfacer la demanda total de la región centro-oriental del país y parte de la región occidental. El 54% de la demanda de producción-recolección de huevos, está ubicado en las provincias centrales y orientales, que en su comercialización- distribución son abiertas y cerradas, evitándose el traslado del producto.

1.2 Utilización del papel reciclado como materia prima para la fabricación de moldeados de celulosa

En la actualidad, la administración de los recursos escasos exige un replanteo, en cuanto a la sociedad de consumo y la producción, reduciendo los insumos de energía (petróleo, electricidad, etc.), la contaminación del suelo, aire y agua; re aprovechando y disminuyendo la cantidad de residuos producidos; para con ello impulsar a la comunidad mundial a la búsqueda de nuevas alternativas.

Un estudio que resalta lo antes planteado, ha sido llevado a cabo por varios especialistas, donde se destacan los aportes realizados por los ingenieros químicos R. Smith, E. Petela y Wang, cuyos aportes en la década del 90 revolucionaron los conceptos sobre los procesos de reciclajes de materias primas de difícil adquisición. Por ejemplo, la recuperación de los materiales nobles, es un proceso que consiste en utilizar materias primas que constituyen productos en desuso, para fabricar otros nuevos. El desperdicio en cierto modo obra con el reciclaje como materia prima, agregándole una particularidad al sistema de producción lineal, desplazando la categoría de lineal por la de circular.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

Según especificaciones de la agencia norteamericana para la Protección del Ambiente (EPA), para que se considere un papel como reciclado, este debe contener, como mínimo, un 50% de fibras recicladas o bien, estar conformado por igual proporción de desechos o recortes de papel. El desarrollo del uso de fibras recicladas en la industria del papel ha significado un éxito a partir de la segunda mitad del siglo 20. En este nuevo siglo las fibras recicladas representan una materia prima indispensable en la industria global del papel para satisfacer las necesidades de fibras en países industrializados y en vías de desarrollo.

El uso de residuos o de papel reciclado como materia prima para la preparación de pasta ha aumentado en el transcurso de las últimas décadas, hasta el punto que algunas papeleras dependen casi completamente del papel de desecho. En algunos países, este último se separa del resto de los residuos domésticos, en origen, antes de su recogida. En otros se realiza una separación por clases en plantas especiales de reciclaje, por ejemplo, cartón ondulado, papel prensa, papel de calidad y papel mezclado).

Sin embargo, la utilización de papel de desperdicio como materia prima para la obtención de fibra conduce a enfrentar retos importantes, tales como la recolección, clasificación, limpieza y conocimientos científicos y tecnológicos, este último para:

- Optimizar el proceso de obtención de fibra útil a partir de papel recuperado.
- Fabricar bandejas con aptitudes de uso a partir de fibra reciclada.
- Transformar el papel fabricado con fibra reciclada en producto de empaque agroindustrial.

Motivo por el cual en tiempos actuales la mayoría de las fábricas que utilizan papel de desperdicio insertan tecnologías y productos químicos para mejorar y optimizar la calidad de sus producciones, así como el incremento de las mismas de manera apreciable.

1.3 Principales operaciones en el sistema de preparación de pastas para la fabricación de moldeados de celulosa a partir de papel reciclado

El proceso de fabricación de moldeados de celulosa cuenta en primer lugar, con un sistema de preparación de pasta, el cual se realiza de manera similar en los procesos tradicionales de preparación de papel. La materia prima que se utiliza en este caso, es la fibra reciclada (5%), que se mezcla con agua (95%) y se tritura en un Hydropulper donde ocurre la separación mecánica del recorte en fibras independientes con el objetivo de obtener una suspensión fibrosa, que permita el transporte por bombeo a las siguientes secciones. La

Capítulo I. Análisis bibliográfico

pasta después de tamizada es alimentada, a la consistencia adecuada, a la máquina moldeadora de donde las bandejas húmedas pasan, de manera continua, a un horno de secado y de ahí al sistema de apilado y empaquetado. En el **Anexo 1** se muestra esquematizado el proceso en cuestión con las principales secciones que conforman el mismo.

1.4 Equipamiento utilizado para realizar la preparación de pastas en fábricas de moldeados de celulosa a partir de papel reciclado

Toda sección de preparación de pastas de una planta que utilice como materia prima papel reciclado, debe emplear una serie de equipos correctamente seleccionados que garanticen cinco operaciones fundamentales:

1. Desintegración de la materia prima y formación de la suspensión acuosa.
2. Depuración de materias gruesas a altas consistencias.
3. Depuración fina de la pulpa.
4. Almacenamiento de la pasta depurada y preparada.
5. Concentración y reutilización de efluentes, principalmente de residuales sólidos y líquidos.

Los equipos tradicionales utilizados para la preparación de pasta que realizan las operaciones mencionadas anteriormente, son los siguientes:

1.4.1 Transportadores de paca

El equipo de transportación y alimentación de sólidos, disponible con modificaciones y variaciones muy numerosas, se puede clasificar en siete grandes categorías: tornillo sinfín, de bandas articuladas, elevador de cangilones, banda, flujo continuo, neumático y vibratorio (Ulrich, 1985).

En la producción de moldeados de celulosa se hace necesario transportar la materia prima que llega a la fábrica en pacas hacia el equipo desfibrador. Para realizar dicha operación se utilizan los transportadores de banda, que de los mencionados anteriormente estos resultan ser los más usados en las industrias de fabricación de moldeados de celulosa. Según (Ulrich, 1985): es la selección más económica cuando se trata de un transportador de gran capacidad en situaciones no críticas. Consiste en una banda continua, flexible, que pasa sobre rodillos y

Capítulo I. Análisis bibliográfico

es impulsada a través de rodillos de potencia. Pueden transportar una amplia variedad de materiales.

1.4.2 Hydropulper

En este equipo se trituran los cartones y papeles usados, mezclados previamente con agua en una proporción inicial de 95% de agua y 5% de papel. Los tipos de Hydropulpers más usados en la industria celulósica son: el delta, el hélico y el Hydropulper con rotor tipo G. La diferencia entre estos equipos radica principalmente en el tipo de materia prima a emplear, por ejemplo, el hélico trabaja fundamentalmente con celulosa virgen, mientras que los otros dos tipos mencionados, utilizan pasta kraft de fibra corta y larga, roturas y corte, papelote (mezclas, OCC). Otro elemento que los difiere es la consistencia de trabajo, ya que en el Hydropulper hélico este indicador asciende hasta un 15%, mientras que en el delta y el Hydropulper tipo G, este parámetro de consistencia oscila entre un 3 y 9% respectivamente.

De los equipos descritos anteriormente, los Hydropulpers delta resultan ser los más usados en la sección de desfibrado y pasta en los procesos de producción de moldeados de celulosa. Están constituidos por una cuba cilíndrica equipada con un deflector delta; por un rotor especial que tiene los álabes dispuestos de tal forma que se consigue una acción eficaz de desintegración y bombeo; y por una chapa tamiz de extracción. La cuba tiene un fondo cónico de manera que la pasta impulsada por el rotor circula suavemente por las paredes de la cuba. La chapa tamiz perforada está equipada con barras rompedoras que crean una turbulencia y fluidez en la pasta. Todo esto hace posible trabajar a una consistencia alta y aumentar la eficacia en el desfibrado. Este equipo es uno de los más avanzados entre los Hydropulpers de baja y media consistencia(Göttsching, 1999).

1.4.3 Separadores de impurezas y depuradores presurizados

La función que realizan los equipos que se relacionan a continuación, es someter la pasta a sucesivas fases de limpieza y depuración para la eliminación de cualquier clase de cuerpos extraños, con el fin de obtener una pasta fina y limpia.

- Uniscreen

Capítulo I. Análisis bibliográfico

Este clasificador extrae contaminantes muy eficazmente en consistencias comprendidas entre 2-3,5 % con un bajo caudal de pasta en el rechazo. Trabaja muy estable sin atascos y puede ser equipado con tamices perforados o rasurados. (Venditti, 2010)

- Multinet

Clasificador doble con una primera cámara con rejilla perforada donde se realiza una clasificación preliminar, así como un ligero despastillado y a continuación una segunda cámara equipada con un tamiz de ranuras donde se realiza una clasificación final.

Consistencia de entrada hasta un 4% y de salida hasta un 3%. Simplifica los circuitos de pasta y es muy económico energéticamente (Catálogo pastas, 2010)

- Depuradores Presurizados (VALMET., 1996).
- Depurador con Doble Separación (Mendoza., 1995).

1.4.4 Hidrociclones

Los hidrociclones más utilizados en el proceso de moldeado se muestran a continuación:

- Heavycyclon

Depurador de pasta espesa de alta eficacia para separar metales, piedras, arenas gruesas. Situado generalmente al principio del circuito de pastas, protege las guarniciones de despastilladores y refinos, así como los tamices de los clasificadores ahorrando costos en repuestos. Posibilidad de trabajo entre consistencias de 1,5% a 5% (Catálogo pastas, 2010).

- Hidrociclón de alta consistencia HC CLEANER(VALMET, 1996).
- Hidrociclones de alta densidad HD CLEANER.

1.5 Conceptualización y objetivos de la evaluación de tecnologías

En Cuba se han confrontado problemas asociados a la transferencia tecnológica atribuible en un alto grado a una insuficiente información tecnológica previa y a la recepción y aplicación de las tecnologías, sin una utilización consecuente de las herramientas ingenieriles, las que, integradas en un procedimiento, hagan posible realizar la evaluación de la tecnología.

Según la (FAO, 1996), la supervisión de la adopción o adaptación de tecnologías es una parte íntegra del sistema de transferencia de la tecnología. Por consiguiente, la evaluación de tecnología (ET) debe preceder y suceder a la transferencia, reafirmando que estos son procesos complementarios. Al mismo tiempo define la ET como un método comprensivo

Capítulo I. Análisis bibliográfico

para examinar el impacto real o potencial de las aplicaciones de la tecnología en ciertos problemas de la sustentabilidad, es decir, se refieren a determinar la mejor opción tecnológica para un desarrollo sustentable.

Solo es posible obtener una medición real de los resultados técnicos y económicos de la transferencia mediante una evaluación “activa” de la tecnología por la entidad receptora, por ejemplo, en el análisis de post inversión referido en la(2006) y en etapas tempranas de asimilación o apropiación de la tecnología.

(Bosch, 2000) considera a la evaluación eficaz de la tecnología como una de las estrategias de implantación de la tecnología, estableciendo que para transferir una tecnología debe tenerse presente la selección de la misma mediante estudios internos y externos así como la negociación de la compra que incluye la evaluación y estructura del contrato, en la selección debe identificarse a los proveedores, evaluar la capacidad de adaptación y de asimilación.

Hacia finales de los 80 se introdujo el concepto de “Evaluación Constructiva de Tecnologías” (ECT). La idea básica de la ECT según (Moñux C, 2000)es que la ET no puede centrarse únicamente en efectos externos como la evaluación de impactos, sino que debe orientarse también hacia el propio desarrollo interno de la tecnología.

Los términos de ET según el(Diccionario Conceptual, 2000), se refieren a la evaluación, previa a la innovación, de las múltiples implicaciones de un desarrollo tecnológico, más allá de la mera determinación de la factibilidad técnica y la rentabilidad, de modo que se maximice el bien común y se minimicen los riesgos públicos.

De acuerdo con (Argonne-National-Laboratory, 2000) la ET es un proceso para analizar las varias opciones de tecnologías existentes y/o nuevas para así determinar la mejor aplicación de estas tecnologías a una situación particular.

Sin embargo,(Armesto, 1999) reduce el concepto de ET al hecho de adquirir una tecnología cuyos productos tengan un buen potencial de crecimiento y que ofrezcan perspectivas para márgenes de ganancia superiores a la media.

De acuerdo a (Tulbure, 2002) la ET es para los ingenieros, una herramienta para hacer más operativo el concepto ideal de desarrollo sustentable. Define que la ET significa el proceso metodológico, sistemático y organizado de análisis de una tecnología y sus posibilidades de desarrollo.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

Según (NASA, 2006), la ET se realiza con el objetivo de identificar necesidades para invertir en desarrollo tecnológico, donde los objetivos de este proceso es identificar tecnologías y priorizar inversiones a corto y largo plazo. El resultado de la ET es un plan de inversión.

Varias de las concepciones expuestas sobre la ET, muestran una tendencia hacia la evaluación del potencial comercial de la tecnología, a la previsión de los desarrollos futuros de una región y a las consecuencias o efectos potenciales del uso de una tecnología, una vez que es generada para ser implementada por el receptor de dicha tecnología, más que a la evaluación de los resultados tecnológicos, económicos, ambientales y sociales al ser implementada por el receptor de la tecnología. En la generalidad de los casos el concepto de ET tiene el enfoque del suministrador de la tecnología.

1.6 Análisis de los estudios, procedimientos y metodologías para la ET

Generalmente, existe coincidencia entre las instituciones y autores dedicados al tema de la ET en cuanto a los pasos o fases que constituyen un estudio de evaluación tecnológica. La diferencia entre las metodologías estriba en la inclusión o no de algunos de los pasos y la similitud radica en el paso relacionado con la evaluación propiamente dicha. Este paso es denominado indistintamente análisis y evaluación de consecuencias, evaluación de impactos, análisis de impactos, análisis de efectos, juicio de expertos, entre los más conocidos. Es precisamente aquí donde intervienen los métodos de análisis o evaluación (Hernández-Touset et al., 2009).

Las metodologías de evaluación tecnológica utilizadas por (Argonne-National-Laboratory, 2000), frecuentemente incluyen técnicas que miden los impactos de una nueva tecnología en todos los componentes del sistema en la cual esta reside.

En (Sanmartín, 1993) se establece que los pasos genéricamente admitidos en un proceso de evaluación tecnológica son: la identificación de impactos, el análisis de impactos, donde se aplican las técnicas de análisis Delphi (opinión de expertos), modelos de simulación, análisis costo/beneficio, y el análisis de gestión, donde la evaluación del impacto ambiental no es más que una evaluación tecnológica restringida a uno de sus impactos.

(EvaluTech, 2000) realiza servicios de evaluación tecnológica que incluyen opiniones de expertos sobre el diseño y posibilidades de fabricación antes de invertir, eliminar la incertidumbre de la probabilidad de éxito de una nueva tecnología, mejoramiento de una

Capítulo I. Análisis bibliográfico

tecnología existente para la reducción de costo o cambio de mercado y evaluaciones válidas e imparciales de las estrategias de desarrollo de productos, precio, ventas o mercado de los competidores.

En cuanto a la evaluación y selección de tecnologías la (ONUDI, 2006) señala que se necesita una metodología para identificar y valorar la tecnología para su aceptabilidad, principalmente por países en desarrollo, teniendo en cuenta que el traslado de tecnología a un ambiente diferente del que se desarrolló implica riesgos y apunta que las metodologías para evaluar tecnologías son empíricas y por consiguiente, se pueden considerar factores subjetivos en el ejercicio de la evaluación, donde la aptitud y los riesgos técnicos y económicos se utilizan como parámetros claves para evaluar si la tecnología será adecuada en el ambiente del país receptor; donde el análisis de los riesgos incluye la identificación y análisis de lo que pudiera denominarse factores ocultos en la industria o en la tecnología.

En correspondencia con las consultas a las metodologías reportadas anteriormente por estas instituciones y por otro gran número que se dedican a los estudios de ET, se puede afirmar que las estrategias van dirigidas a evaluar los impactos potenciales y probabilidades de éxito de las tecnologías, tanto por los suministradores como por los receptores, pero es insuficiente la información al alcance de estos últimos, en cuanto a estrategias que permitan definir el estado en que se encuentra la gestión tecnológica y a métodos o procedimientos particulares que se puedan aplicar a diversas instalaciones y que permitan definir medidas correctivas para pasar de un estado a otro superior en la asimilación tecnológica.

En los estudios realizados por (Hernández and González, 2004) en varias plantas de fabricación de papel y de fraccionamiento de aire de la región central del país que han operado ineficientemente desde la puesta en marcha, se definen los aspectos tecnológicos a considerar en la evaluación, se aplican métodos para el control de la operación de procesos y se determinan las pérdidas materiales y financieras condicionadas por una insuficiente evaluación de las tecnologías en etapas tempranas de la operación de las plantas. En estos trabajos se aplica un procedimiento de evaluación tecnológica, cuyos resultados contribuyen a definir con mayor precisión los objetivos de intensificación de dichos procesos.

La ET es la herramienta que permite a las empresas examinar las tecnologías en profundidad y con previsión en el contexto de los intereses y capacidades de la empresa, así como en el contexto de Sociedad en que vive la empresa. El objetivo de la ET, con el fin de

Capítulo I. Análisis bibliográfico

obtener una ventaja competitiva, es considerar la tecnología en su contexto completo, y con todas sus oportunidades, posibilidades y ramificaciones para la empresa y el medio ambiente en el que opera. Por lo tanto, la ET se define en el contexto de la gestión de la tecnológica como un intento sistemático de prever las consecuencias de introducción de una tecnología en todos los ámbitos con los cuales esta interactúa.

Cuanto mayor sea el conocimiento obtenido antes de tomar una decisión sobre el desarrollo o implementación de una tecnología, menor será la probabilidad de errores y sorpresas desagradables. En particular, una tecnología debe ser vista en su contexto más amplio, en todos sus impactos sobre la sociedad, el entorno natural y la organización en la que se despliega. Este tipo de recopilación de información se conoce como Evaluación de Tecnología (ET). Su propósito es mirar más allá de lo inmediatamente obvio, analizando las ramificaciones de una tecnología dada en una visión tan amplia y visionaria como sea posible. Es sólo mediante la recopilación de la mejor información posible se puede tomar la mejor decisión posible. La ET es un intento sistemático para eliminar todas las imprecisiones y curar la miopía.

La ET incluye dos dimensiones. La primera dimensión es la caracterización de los aspectos económicos de la tecnología que demuestra su influencia en el éxito del negocio.

La segunda dimensión de la evaluación analiza la importancia de una tecnología con respecto a: su madurez y límites de rendimiento previsibles; tecnologías competidoras; el alcance de las posibles aplicaciones y posibles sinergias; compatibilidad con sistemas existentes; y los riesgos técnicos involucrados (Bhatnagar,2003).

La Evaluación de Impacto Ambiental es una herramienta diseñada para identificar y predecir el impacto de un proyecto sobre el medio bio-geofísico y sobre la salud y el bienestar del hombre, interpretar y comunicar información sobre el impacto, analizar alternativas de sitio y proceso y proporcionar soluciones a Eliminar o mitigar las consecuencias negativas para el hombre y el medio ambiente. La EIA es siempre necesaria para un proyecto de pulpa y papel (si se trata de una nueva planta o la expansión de una instalación existente), como para cualquier proyecto industrial de importancia. El EIA es un medio para evitar las perturbaciones ambientales que son siempre mucho más costosas de corregir después de su ocurrencia que antes. También es importante subrayar que muy pocos proyectos han sido considerados no viables sólo por el costo del control de la

Capítulo I. Análisis bibliográfico

contaminación y que el control ambiental moderno en una nueva planta representa menos del 3% de la inversión inicial (Harcharik,1996).

Desde hace tiempo se reconoce que la introducción de tecnologías sin tener en cuenta los contextos culturales y preferencias culturales a los que han sido diseminadas a menudo conduce a una baja adopción de las tecnologías. Al respecto, la ET es un grupo de prácticas que intenta anticipar y analizar las más amplias implicaciones sociales, ambientales y económicas de los proyectos tecnológicos e investigar las consecuencias de las opciones disponibles para los tomadores de decisiones. La ET intenta anticipar los impactos y evaluaciones con el fin de reducir los costos sociales y humanos que incurren en el aprendizaje social de las tecnologías puramente a través del tanteo y error (Ely, 2011).

1.7 Torres de enfriamiento

Las torres de enfriamiento regulan el proceso de enfriamiento mediante la evaporación controlada, reduciendo así la cantidad de agua consumida. Esto se logra cuando a la gota que se pone en contacto con el aire, se le evapora la película exterior, requiriendo para este proceso de absorber calor, el cual se toma de la propia gota, enfriándola consecuentemente. Es decir, el enfriamiento se realiza tanto por calor sensible (cambio de temperatura) como por calor latente (cambio de estado físico).

El objeto que se persigue en la torre es que la gota esté el mayor tiempo posible en contacto con el aire, lo cual se logra con la altura de la misma y además interponiendo obstáculos (el relleno), que la van deteniendo y al mismo tiempo la van fragmentando facilitando más el proceso evaporativo. En los nuevos sistemas los obstáculos en lugar de romper la gota, hacen que se forme una película muy delgada en donde se lleva a cabo el mismo proceso.

En términos generales, podemos decir que la capacidad de enfriamiento de una torre es una combinación de todas las variables involucradas en el diseño y selección de la misma y nos indica la cantidad de agua que enfría en condiciones de operación comparada con las condiciones de diseño, esto es entonces, el equivalente de la eficiencia térmica.

La mayor parte de la información disponible para las torres de enfriamiento es de selección, no de diseño y el cliente no puede nunca determinar "a priori" si una torre está bien o mal diseñada y si a esto se le agrega que en mayor o menor grado las torres siempre enfrían, entendemos por qué la dificultad para evaluar éstos equipos.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

1.7.1 Clasificación de las torres de enfriamiento:

Torres de circulación natural.

-Torres de tiro natural

En estas el aire es calentado por el agua al entrar en contacto ambos, por tanto, su densidad es baja. Debido a la diferencia de densidad dentro y fuera de la torre se origina un flujo natural de aire frío en la parte inferior y una expulsión del aire caliente menos denso en la parte superior, para que esto ocurra la torre debe ser alta y su sección transversal grande, debido a la baja velocidad con que circula el aire. Comparada con las de tiro mecánico consume gran fuerza para el bombeo, pero elimina el costo de potencia del ventilador.

-Torres atmosféricas

Son más económicas, pero necesitan una velocidad del aire alrededor de 2,68 m/s y en lugares donde resulte muy costosa la energía es preferible la velocidad del viento de 1,2 a 1,34 m/s, se hacen estrechas y muy altas, operan a flujo cruzado, trayendo como consecuencia, potenciales más ineficientes, siendo más efectivos los potenciales, a contracorriente. Debido a su tamaño tienen un costo alto y cuando hay calma debe dejar de operarse, eliminan los costos de la fuerza, por no usar ventilador. Si la velocidad del viento es superior a 2,23 m/s opera a menos de su capacidad de diseño.

Torres de tiro mecánico.

Son aquellas que usan ventiladores para mover el aire a través de la torre, estos deben formar parte de la estructura y dan al diseño un absoluto control del aire, estas pueden traer consigo las siguientes ventajas y desventajas:

1.7.2 Ventajas de las torres de enfriamiento de tiro inducido

1. Un mayor rango de enfriamiento posible.
2. Control cerrado de la temperatura del agua.
3. El costo de capital es menor que el costo en torres de tiro natural.
4. Más relleno por unidad de volumen de la torre.
5. Una pequeña área de terreno que debe ser mantenida.
6. Generalmente baja carga de bombeo.
7. La localización de la torre no es restringida.

1.7.3 Desventajas de las torres de enfriamiento de tiro inducido:

1. Un considerable gasto de energía para operar los ventiladores.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

2. El costo de operación es alto.
3. El costo de mantenimiento es alto.
4. Está sujeto a la recirculación de vapor de aire húmedo exhausto con el aire que entra.

1.8 Sistemas de gestión de agua en la industria de pulpa y papel

1.8.1 Usos del agua

En la fabricación de papel, moldeados de celulosa y cartón, el principal empleo del agua lo constituye su uso como medio de dispersión y transporte de las materias primas fibrosas y de los aditivos, a través de las etapas del proceso de producción, que van desde el pulpeo hasta la formación. El agua se utiliza también como fluido de intercambio de calor, para el sellado de los sistemas a vacío, para la producción de vapor, como agente lubricante, etc. El volumen de agua consumida depende de numerosos factores (lo cual explica la disparidad de los datos encontrados), entre los que cabe destacar tres principales: el tipo de fibra utilizada como materia prima, el producto fabricado y la tecnología del proceso de producción.

Con respecto al uso del agua en la industria de la celulosa y papel, este se puede dividir en: agua para el proceso (lavado de materia prima, transporte de sólidos), agua para enfriamiento (atemperamiento, intercambio de calor, vapor), agua para usos sanitarios u otros (servicio del personal que labora dentro de las fábricas y riego de las áreas verdes).

El consumo promedio del agua es de 54 m³ /tonelada. (Para la industria del papel oscila entre 7,5 y 37,8 m³ /tonelada y para la pulpa y papel entre 15 y 226 m³ /tonelada). Las industrias integradas presentan un ahorro en el consumo del agua. (C. Negro, 1995).

Fuentes de contaminación del circuito de aguas.

De acuerdo con (C. Negro, 1995) las fuentes de contaminación de los circuitos de aguas en la fabricación de papel y cartón son: las materias primas fibrosas, los aditivos y el agua de alimentación. A continuación, se estudiará la importancia de las mismas, así como los efectos más importantes a ser considerados en cada caso en el estudio de la contaminación producida.

Materias primas fibrosas.

Las materias primas fibrosas constituyen la fuente de contaminación principal de las aguas blancas, si bien la naturaleza e importancia de la misma varía considerablemente en función

Capítulo I. Análisis bibliográfico

del tipo de fibra utilizada en el proceso de producción. Los tres parámetros más importantes son: el contenido de partículas de finos, el contenido de materia orgánica soluble y la concentración de microorganismos.

Según (Salome, 2004) aunque la naturaleza química de las partículas incorporadas a las aguas de proceso por la fibra virgen y secundaria es distinta, orgánica para las primeras e inorgánica para las segundas, los problemas asociados con la incorporación de estos contaminantes pueden solucionarse en ambos casos mediante cambios en el tratamiento de las fibras o en el uso de aditivos que mejoren la retención y el drenaje.

En la fibra virgen, la principal fuente de contaminación orgánica la constituyen las materias extractivas, como, por ejemplo, los ácidos resínicos y las ceras, así como las ligninas y sus derivados. Sin embargo, también pueden encontrarse contaminantes de residuos químicos utilizados en las etapas previas de pulpeo, lavado y blanqueo, que originan compuestos contaminantes específicos, como los organoclorados, las dioxinas, los diparabenzofenilos, etc.

Las pastas de fibra secundarias presentan una mayor variación en su contenido en materia orgánica soluble debido a los aditivos utilizados en el proceso de fabricación del papel, moldeados, o del cartón previo. Los problemas asociados con los depósitos de materias resinosas en fibras vírgenes son reemplazados, en este caso, por un gran número de problemas asociados a los depósitos potenciales de stickies (sustancias pegajosas) (C. Negro, 1995).

Las fuentes principales de estos contaminantes potenciales son adhesivos de contacto (polímeros de estireno-butadieno, acrilatos de vinilo, etc.) y adhesivos de fusión (por ejemplo, el acetato de vinilo). Otros contaminantes son los aglutinantes que entran a formar parte de las tintas modernas, como, por ejemplo, las resinas alquílicas en los pigmentos de impresión láser.

Además, todos los papeles estucados contienen aglutinantes en su composición (polímeros de estireno-butadieno, acetato de polivinilo, etc.). Otra fuente de contaminación importante de las fibras secundarias es la elevada concentración de microorganismos como consecuencia de la suciedad y la humedad del medio en que se almacena el papelote antes de su reutilización. Por otra parte, los almidones presentes en el papel reciclado son un excelente medio de crecimiento para los microorganismos presentes en el sistema de aguas

Capítulo I. Análisis bibliográfico

de proceso, y, por tanto, favorecen el desarrollo de microorganismos y, los problemas asociados a los mismos.

1.8.2 Gestión del agua en el cierre de circuitos de aguas blancas.

Cualquier paso hacia el cierre de cualquier circuito de agua, es una cuestión de regulación. Este balance existe entre la acumulación de contaminantes y su impacto en el funcionamiento y marcha de la máquina de moldeados. En la práctica hay un particular nivel de contaminación en los circuitos de agua, que es aceptable para cada máquina, sin causar desperfectos inaceptables. Cuando este nivel de contaminantes ha sido excedido, es detectado como un mal funcionamiento y debe aplicarse algún procedimiento adicional para tratar el agua, a fin de alcanzar nuevamente, un nivel aceptable y rebajar el grado de contaminación.

El objetivo o meta de la completa gestión del agua es obviamente el reciclado razonable de circuitos de agua. No significa ello el cierre completo, sino el equilibrio entre la alta calidad del producto, buen funcionamiento de las máquinas y calidad de agua de proceso estable con la mejor y más competitiva tecnología disponible al seleccionar los equipos.

Es obvio, que la mejor tecnología disponible en los tratamientos del agua bruta, así como todos los métodos anteriormente descritos, incluyendo los tratamientos biológicos, la tecnología de membranas y la evaporación, serán parte del concepto de gestión del agua, cuando los circuitos de agua se estén cerrando en equilibrio con la calidad final del producto y el funcionamiento de las máquinas (Alcala-Galiano, 1998).

Consecuencias asociadas al cierre de los circuitos de las aguas

Los problemas asociados al cierre de los circuitos de las aguas como consecuencia de la acumulación de sustancias contaminantes en las aguas de proceso son de muy diversa índole, si bien se pueden clasificar de forma general por los problemas asociados:

1. Incremento de los sólidos en suspensión.
2. Incremento de la materia disuelta y coloidal.
3. Incremento de la temperatura.
4. Efectos en la productividad de la máquina: peor retención y desgote, formación de depósitos e incrustaciones, incremento de la frecuencia de roturas, etc.
5. Efectos en la eficacia de los aditivos.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

Los problemas asociados al incremento de los sólidos en suspensión son los más fáciles de resolver, por cuanto estos compuestos pueden ser eliminados mediante sistemas de clarificación de las aguas de proceso. Sin embargo, una concentración elevada de los mismos puede dar lugar a graves problemas por depósitos en distintas partes del proceso de fabricación, mayor consumo de aditivos y pérdidas de propiedades físicas en el producto final. El ejemplo más característico son los bloqueos de los rociadores en aquellas fábricas que reutilizan el agua de proceso para esta aplicación (Alcala-Galiano, 1998).

Los problemas asociados al aumento de la materia orgánica en suspensión son similares a los que se exponen a continuación referidos a la aglomeración de materia coloidal. Con respecto al crecimiento de los sólidos inorgánicos en suspensión, hay que considerar los efectos perjudiciales del incremento de cargas en las aguas de proceso. A modo de ejemplo, pueden citarse:

1. Incremento de depósitos en los equipos de fabricación.
2. Incremento de la abrasión en partes móviles, como bombas, rodillos, etc.
3. Reducción de la resistencia física y química del producto.
4. Incremento de espumas cuando el carbonato cálcico se encuentra en medio ácido.

Los problemas asociados al incremento de la materia disuelta y coloidal son los que presentan una mayor importancia en la fabricación de papel, moldeados y cartón. Se deben, en general, al aumento de la concentración de sales inorgánicas, de la materia orgánica y de los microorganismos.

La acumulación de sales inorgánicas en el sistema es uno de los aspectos importantes que hay que considerar como detrimento en el cierre del sistema de las aguas de proceso, debido al número elevado de problemas que pueden acarrear, tanto en el proceso de producción, como en el producto.

1.8.3 Alternativas más frecuentes para el cierre de circuitos de aguas.

Si el agua se utilizase en la fabricación de papel, moldeados y cartón en circuitos totalmente abiertos, el consumo de agua sería técnica, económica y ecológicamente inadmisibles en la actualidad. Por tanto, todas las fábricas utilizan, en mayor o en menor medida, algún grado de reciclado del agua en el proceso de fabricación (Alcala-Galiano, 1998). Las alternativas más frecuentemente adoptadas en la industria papelera para la reducción del consumo de agua son:

Capítulo I. Análisis bibliográfico

1. Reutilización de las aguas blancas como aguas de proceso.
2. Reutilización del agua clarificada para diferentes aplicaciones.
3. Utilización del agua en sistemas en cascada en función de los requisitos calidad-uso.
4. Utilización del agua para usos técnicos en sistemas cerrados.
5. Reutilización del efluente después de su tratamiento como agua de alimentación.

1.8.4 Tecnologías de cierre de circuitos de agua en la industria del papel, moldeados y cartón.

Según (Alcala-Galiano, 1998), el primer paso en la gestión de los circuitos de agua es normalmente la reutilización de las aguas blancas como aguas de proceso. Las fibras recuperadas, cargas y aditivos son reciclados adecuadamente cuando lo permiten los requisitos de calidad o de otra forma son totalmente retirados del proceso para evitar acumulaciones innecesarias. Los métodos aplicados son las tecnologías de Filtración, Sedimentación y Flotación por aire disuelto (FAD).

El sistema elegido para cada aplicación depende del criterio de prioridad, de cuales sean los requisitos de tratamiento del agua, de los equipos, de los consumos, etc. Un paso más en el fomento del ahorro es tratar los filtrados o vertidos mediante la tecnología de membranas, ultrafiltración, por ejemplo, a fin de conseguir un agua libre de sólidos en suspensión y de algún modo reducir el contenido de materia coloidal.

En el caso del destinado el objetivo del tratamiento de aguas filtradas es extraer los contaminantes, como el plástico, barro, arcilla y tinta, del agua de proceso. La especial ventaja del sistema D.A.F (Dissolved Air Flotation) en este tipo de tareas, es su habilidad para extraer los contaminantes que pueden causar problemas. El sistema D.A.F. es pequeño en volumen, aunque puede tolerar alta carga superficial, y el fango extraído del sistema puede alcanzar una relativamente alta concentración. En función del grado de cierre puede haber uno o dos circuitos de agua separados, aún dentro de la línea de destintado (Salome, 2004).

Al eliminar los contaminantes coloidales de la última etapa de filtración mediante un clarificador D.A.F., el aumento de problemas en el circuito de agua de proceso de preparación de stock puede ser minimizado, así como el paso de estos contaminantes a la máquina de papel.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

1.8.5 Sistema de flotación por aire disuelto (FAD).

La Flotación por Aire Disuelto es un proceso que permite remover las partículas presentes en el agua haciéndolas flotar, por medio de la adhesión de pequeñísimas burbujas de aire. En este proceso, las microburbujas de aire, son generadas por la súbita reducción de presión en la corriente líquida saturada de aire, proveniente de una cámara o tanque de saturación. En efecto, por medio de una bomba, una pequeña cantidad de agua clarificada (5 a 10 % del caudal que pasa por la unidad) es presurizada hasta un valor de 4 a 5,5 bar y conducida a un tanque de saturación, donde la concentración de aire disuelto alcanza su correspondiente valor de saturación. El aire es provisto mediante compresor controlado según demanda del sistema. Esta agua presurizada y saturada de aire, es distribuida a la entrada del agua floculada a la celda de flotación, donde mediante brusca descompresión, se propicia la liberación del exceso de aire en forma de diminutas burbujas. Estas a su vez, se adhieren rápidamente a los flóculos preformados haciéndolos flotar. Los flóculos ascienden y se acumulan en la superficie del recinto de flotación, formando una capa de lodo de espesor creciente, que se remueve periódicamente mediante raspadores superficiales (Gross, 2015). La flotación por aire disuelto es el sistema de flotación más usado en el tratamiento de agua residual. La operación del proceso DAF está basada en principios descritos con detalle en trabajos anteriores. Las variables de operación que afectan el rendimiento del DAF son la presión de saturación, la razón de recirculación y el modo de inyección del agua saturada o posición de la válvula reductora de presión. En general a mayor presión de saturación se tiene una mayor cantidad de aire disuelto en agua, y mayor dispersión en la distribución de diámetros de burbuja con aparición de turbulencia. Dada la importancia de obtener un diámetro de burbuja lo más pequeño y homogéneo posible, es preciso establecer una presión de trabajo intermedia (Salas, 2004).

1.8.5.1 Ventajas y desventajas de la flotación por aire disuelto

Ventajas:

1. Requiere menos tiempo que la decantación y permite una mayor carga de sólidos en el agua.
2. Alta eficiencia en la remoción de sólidos.
3. Menor área requerida para instalación.
4. Remoción de microorganismos y precipitados difíciles de sedimentar.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

5. Alta tasa de separación.
6. Más eficiente para remoción de DBO5 que otros procesos de separación.
7. Sensible economía de productos químicos, con una reducción posible de hasta 20 a 30 % de coagulante, no siendo necesaria la adición de auxiliares de coagulación como polímeros para dar peso al flóculo.
8. Gran eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos, generalmente superando los valores obtenibles con los decantadores más eficientes. De acuerdo a la experiencia evaluada de anteriores estudios, resulta perfectamente factible obtener valores de turbiedad de agua clarificada por flotación inferiores a 1 NTU. De esta manera la carga de flóculos a los filtros disminuye en forma significativa, determinando mejoras en la calidad de agua filtrada y mayor duración de carreras de filtración.
9. La flotación permite remover algas que frecuentemente causan serios problemas en la decantación y en la filtración y produce agua de sabor agradable y saturada de oxígeno.
10. El lodo flotado contiene un tenor de sólidos generalmente superior al 3 %, lo que facilita su disposición final mediante secado directo en filtro de bandas o prensa, previo a su disposición final en relleno sanitario.
11. Dada la similitud de tasas de diseño superficiales, la celda de flotación puede disponerse directamente sobre el lecho filtrante, resultando en una mayor compacidad de la instalación (CONAMA, 2015).

Desventajas:

1. Sensible a variaciones de temperatura, sólidos en suspensión, recargas hidráulicas, variaciones químicas y fisicoquímicas, comparado con procesos de sedimentación.
2. Costos operacionales elevados cuando existe un control riguroso automático de parámetros.

Aplicaciones de la flotación.

1. Separación de materias floculadas en clarificación de agua de superficie (generalmente en lugar de la decantación, para aguas poco mineralizadas cargadas de materias orgánicas y frías).
2. Separación y recuperación de fibras en aguas de papelería.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

3. Separación de aceites, floculados o no, en aguas residuales de refinerías, aeropuertos, metalurgia.
4. Separación de hidróxidos metálicos o de pigmentos en tratamiento de aguas residuales industriales.
5. Espesamiento de fangos activados (o de mezcla fangos activados-fangos primarios) procedentes del tratamiento de aguas residuales orgánicas.

Las técnicas varían según:

1. El modo de formación de las burbujas.
2. La forma de alimentación del flotador.
3. La forma de los tanques o depósitos utilizados.
4. El sistema de recogida de las materias flotantes.

La técnica más extendida de producción de microburbujas es la de la presurización. Las burbujas se obtienen por expansión de una solución enriquecida de aire, disuelto a una presión de varias atmósferas. Como líquido presurizado, se utiliza el agua bruta, o agua tratada recirculada. El caudal de agua presurizada es sólo una fracción del caudal nominal de la instalación; para presiones de 8 a 3 atmósferas, esta fracción equivale del 10 al 30 % del caudal a tratar, y se obtiene como valor medio la disolución de un exceso de aire del 60 % aproximadamente, con relación al nivel de saturación a la presión considerada. El consumo de aire comprimido varía entre 15 y 50 litros normales de aire por m³ de agua tratada (CONAMA, 2015).

1.8.5.2 Parámetros principales en el sistema de FAD

Los principales parámetros de diseño y operación de un sistema de FAD son: el tiempo de floculación (min) con un rango de 8-45; el tiempo de flotación (min) con un rango de 10-30; la tasa de escurrimiento (m³/m²*d) con valores entre 72- 480; la tasa de recirculación (%) que oscila entre 3 – 30; el por ciento de sólidos en el lodo con valores entre 0,1- 8; el consumo de aire comprimido (l/m³agua) con un rango de 15-50; el consumo de energía (W/m³/h) con valores entre 45- 60; la relación aire sólido (kg aire/kg sólido) con valores entre 0,01-0,2; la tasa de escurrimiento de sólidos (lb/pie²) con un rango de 30-40 y la presión (atm) con valores entre 1-6. (Salas, 2004)

Capítulo I. Análisis bibliográfico

1.8.5.3 Problemas de operación que pueden presentar el equipo FAD

Los siguientes problemas se pueden presentar a la hora del funcionamiento del equipo de flotación por aire disuelto.

1. Control de la calidad de burbujas y flujo al sistema de FAD.
2. A presiones menores que 30 lb/pulg² se producen grandes burbujas y a mayores que 80 psia burbujas pequeñas.
3. Mantener la operación continua. Si se detiene la operación sedimenta el lodo.
4. Si no se mantiene la presión en el sistema, chequear grasas, sólidos acumulados en válvulas de control o bombas de recirculación y el estado de la bomba.
5. Si no se mantiene la interface aire/agua chequear los sensores y limpiarlos, la presión de aire disponible, las válvulas de regulación de aire.
6. Si no se crean burbujas, chequear el nivel de la interface agua/aire. Si el tubo está lleno de agua los sensores debes estar funcionando mal. Chequear el solenoide de suministro de aire.
7. Capa de lodo flotante fina:

Causa: insuficiente aire. Relación aire/sólido excesiva (flotado aparece espumoso), alimentación de productos químicos impropia, el barredor se mueve lento.

Acción correctiva: Chequear compresor de aire, flujo de aire, ajustar velocidad, ajustar dosis.

8. Altos sólidos suspendidos del efluente.

Causa: insuficiente aire, impropio punto de adición de productos químicos, sobrecargada la unidad, el barredor se mueve lento.

Acción correctiva: chequear compresor de aire, flujo de aire, mezclado, dosis y punto de adición, ajustar velocidad, chequear flujo contra carga de sólidos totales suspendidos y diseño (Alemayehu, 2015).

1.9 Generalidades sobre secaderos

Hay que tomar en cuenta diversos criterios para escoger el método que mejor se adapte al secado de una substancia:

- A. El modo de funcionamiento del aparato.
- B. La naturaleza y calidad del producto a secar.
- C. La fuente de calor y el modo de transmisión del mismo.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

D. La seguridad.

E. El consumo de energía.

F. La facilidad para controlar el tiempo de tratamiento.

La elección del método de secado es generalmente una situación ponderada de todos estos factores.

A. Modo de funcionamiento del aparato.

El funcionamiento puede ser discontinuo o continuo. La elección depende de la importancia de la producción. Si ésta es pequeña, a menudo se escoge un funcionamiento discontinuo. Si, al contrario, la producción es importante, las operaciones de carga o descarga a efectuar en discontinuo se volverían más tediosas. Por lo tanto, el funcionamiento continuo es deseable y económicamente más rentable.

B. Naturaleza del producto a secar.

La preparación, modo de manejo, fuente de calor a utilizar, modo de transmisión y concepción de los sistemas de aireación, dependen de la naturaleza del producto a secar. Puede tratarse de líquidos, pastas, materiales pulverizados, granulados, fibrosos o compactos:

-Los cuerpos pastosos muy viscosos frecuentemente se laminan sobre tambores y después se desmenuzan, lo cual les confiere una textura cercana a la de los sólidos. También pueden ser tratados sobre bandas o en secadores de tornillo.

-Los sólidos polvosos (o susceptibles a ser triturados) son secados generalmente en secadores de banda, cilindro, lecho fluido, lecho móvil, transporte neumático. Si son susceptibles a aglutinación se puede diseñar una recirculación de producto seco para reducir los riesgos de aglomeración (bajo reserva de que el aumento en el tiempo de residencia puede contribuir a una degradación de los productos).

-Los productos compactos o en trozos son tratados en secadores de gabinete, en túneles de carros o banda transportadora.

-Un producto bombeable ofrece más posibilidades de tratamiento que uno no bombeable.

La cantidad de producto a obtener puede limitar la elección del modo de secado. Así, por ejemplo, el secado de colorantes, de productos farmacéuticos o alimenticios, debe llevarse a cabo evitando toda contaminación del producto o el someterlos a atmósferas que los puedan degradar; por ello muchos de estos productos se secan en pequeños lotes.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

C. Fuente de calor y modo de transmisión.

En los secadores de convección o conducción, pueden utilizarse los fluidos calientes clásicos (vapor, agua caliente, gas de combustión) para suplir el calor necesario para la extracción de humedad. Estos fluidos circulan generalmente por chaquetas o por tubos en contacto con el material a secar (secado por conducción) o dentro de los recalentadores de aire (secado por convección). Si los gases de combustión están limpios, se les puede poner en contacto directo con el material a secar.

El secado por irradiación infrarroja se efectúa por medio de lámparas eléctricas o de paneles calefactores. El secado por corrientes de alta frecuencia se utiliza sobre todo cuando la calidad del producto seco es determinante.

La elección de la temperatura de secado es muy delicada:

-una elevada temperatura permite aumentar la velocidad de secado, pero conduce a veces a la aparición de una costra en la superficie del producto (fenómeno de "case hardening") que dificulta la extracción de humedad.

-una temperatura demasiado baja aumenta considerablemente el tiempo de operación.

-algunos productos son termosensibles y no pueden ser secados a temperaturas superiores a 60°C, por ejemplo.

Como ya se ha mencionado, la convección es el método de transferencia más utilizado en el secado. El contacto entre el gas y el producto puede hacerse:

-por secado simple: el aire circula a lo largo de la superficie del producto que está dispuesto en capas delgadas sobre las charolas, los carros o las bandas transportadoras. Esta técnica es conveniente para el secado de productos polvosos, granulosos o compactos. El tiempo de residencia en el aparato puede ser fácilmente controlado.

-por combinación de dispersión y raspado en los secadores de tambor.

Esta técnica está bien adaptada para sólidos granulosos. En general, el tiempo de residencia del producto en el secador es largo.

-por circulación del aire a través del material. Este tipo de contacto mejora considerablemente la transferencia de calor y de material, pero la pérdida de carga que sufre el gas es importante. Esta técnica es utilizada para el secado de todo tipo de sólidos. El tiempo de residencia de los productos es variable.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

El secado por conducción se emplea sobre todo para el tratamiento de líquidos, productos pastosos o sólidos que no pueden ser puestos en contacto con el aire.

D. Seguridad del proceso.

Conviene no perder de vista que el secado de algunos productos puede llevar a la formación de polvo en las zonas secas, esto es, a la salida del secador o de los ciclones, lo que puede provocar problemas de contaminación.

Además, algunos productos que conlleven emanaciones tóxicas deben ser tratados por métodos especiales.

E. Consumo de energía.

La eficiencia energética de los secadores térmicos es baja. En efecto, debemos recordar que el objetivo del secado es de arrastrar y eliminar un líquido de un producto al cual está inicialmente ligado por uniones de tipo químico (iónicas, covalentes, metálicas) o de tipo electrostático (enlaces de Van der Waals, puentes de hidrógeno), uniones que requieren un gran consumo de energía para ser rotas.

El rendimiento de los secadores pocas veces sobrepasa el 60%. Es importante entonces, incluir técnicas susceptibles a economizar energía.

1.9.1 Secado en túnel

En este tipo de secador, el producto se dispone en capas delgadas sobre carros, una banda transportadora o un tablero que asegure un avance. Un mismo recinto de secado puede contener varias bandas superpuestas que permiten al sólido efectuar varias pasadas. El aire caliente circula en contracorriente o en paralelo al producto. Los sistemas de movimiento del material permiten mejorar la eficacia del contacto. En otros, es posible regular la temperatura en las diferentes zonas, y en algunos tipos de secadores de banda, incluso el tiempo de residencia en cada una de las zonas.

Estos secadores se usan para el tratamiento en continuo de frutas, verduras y carnes en la industria de alimentos, y también en la de forrajes, cerámicas, minerales, tejidos, pastas, etc.

En los secadores en contracorriente se presentan dos situaciones críticas:

1. Como el aire más caliente entra en contacto con el producto más seco, elimina más agua de aquella atada con más fuerza.
2. Por esta misma razón, el alimento se ve más susceptible al daño por calor.

Capítulo I. Análisis bibliográfico

En los secadores en paralelo, estas situaciones se presentan a la inversa.

La fase importante al diseñar este tipo de secadores es el dimensionamiento del túnel, y la determinación de la cantidad de producto que se puede manejar. Este diseño puede hacerse en base a los perfiles de temperatura y humedad, tanto del aire como del producto.

1.10 Generalidades sobre el software TIBCO Business Studio TM

TIBCO Business Studio™ se encarga de la modelación y gestión de procesos tanto de servicios como industriales, pudiendo obtener una modelación exacta del proceso en cuestión de acuerdo a los datos utilizados en el mismo, está diseñado para analizar diferentes casos de estudio y de la misma manera poder compararlos desde el punto de vista del tiempo de utilización de los participante, del tiempo desocupado de estos y desde el punto de vista económico del proceso en general, de esta manera el programa es de gran utilidad en diferentes tipos de escenarios.

Conclusiones parciales

1. La estrategia de evaluación tecnológica incorporada en la etapa inicial del análisis complejo de procesos, validada en otras industrias cubanas, se puede aplicar en la industria del papel, teniendo en cuenta sus particularidades.
2. Cuanto mayor sea el conocimiento obtenido antes de tomar una decisión sobre el desarrollo o implementación de una tecnología, menor será la probabilidad de errores y sorpresas desagradables, es por esto que una tecnología debe ser vista en su contexto más amplio, en todos sus impactos sobre la sociedad, el entorno natural y la organización en la que se despliega.
3. Los principales parámetros de operación a controlar en el sistema de FAD son: presión, flujo de agua al tanque de presurización, flujo de aire al tanque de presurización, flujo de agua clarificada recirculada y flujo de agua presurizada al equipo de FAD.
4. El software TIBCO Business Studio permite evaluar el proceso de producción desde el punto de vista de tiempos de operación y costos lo que facilita comparar escenarios, organizar la producción y por tanto contribuye en la toma de decisiones y a incrementar los principales indicadores de eficiencia del proceso.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

2.1 Introducción

Diversos aspectos de índole metodológicos, abordados en el capítulo anterior, constituyen la esencia del desarrollo de una estrategia para la evaluación tecnológica en plantas moldeadas de celulosa.

En el presente capítulo se toma como base la estrategia de evaluación tecnológica propuesta por (Hernández-Touset et al., 2009) y se modifica en correspondencia con las condiciones de la entidad objeto de estudio.

2.2 Descripción de la estrategia de evaluación tecnológica

En la **figura 2.1** se muestra el diagrama heurístico que soporta la estrategia propuesta. El mismo está compuesto por doce pasos. Las principales particularidades en la implementación del modelo se introducen en el paso de evaluación de las etapas y del proceso, tales como la modelación y simulación del proceso propiamente del moldeo de celulosa, mediante el software TIBCO Business Studio, la evaluación tecnológica y energética del túnel de secado, la evaluación de diferentes sistemas auxiliares como, el sistema de flotación por aire disuelto (FAD) para el tratamiento de los residuales acuosos, la torre de enfriamiento y el sistema de bombeo de la planta. Se aplica el balance de materiales, el análisis económico y los resultados de los indicadores relativos a la gestión de proyectos (PRD, VAN, TIR). De forma general los aspectos antes mencionados permiten valorar de manera conjunta aspectos subjetivos, técnicos y económicos, en la evaluación de la tecnología, por lo cual se considera un aporte de la presente investigación.

2.2.1 Paso 1: Preparación

Este paso constituye el primero de la estrategia y se divide en tres partes: el establecimiento de los compromisos de la organización, la conformación del equipo de trabajo y la preparación del personal para afrontar el cambio.

2.2.1.1 Establecimiento de los compromisos de la organización

Esta etapa está encaminada a conseguir el grado necesario de entendimiento y compromiso entre: el personal involucrado en el proceso de toma de decisiones a todos los niveles de la organización, el personal encargado de desarrollar, administrar y mantener los equipos y

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

sistemas auxiliares que dan soporte a este proceso y el personal encargado de efectuar el estudio. De manera general deben quedar establecidos los puntos siguientes:

1. Identificar y asignar las prioridades a los objetivos planteados en base a las necesidades de la organización.
2. ¿Cómo van a participar en el estudio cada una de las personas involucradas a partir del rol que cada una de ellas tenga dentro de la organización?
3. Compromiso de cada una de las personas implicadas de brindar la información necesaria.
4. Cronograma de reportes de progreso en los consejos de dirección.

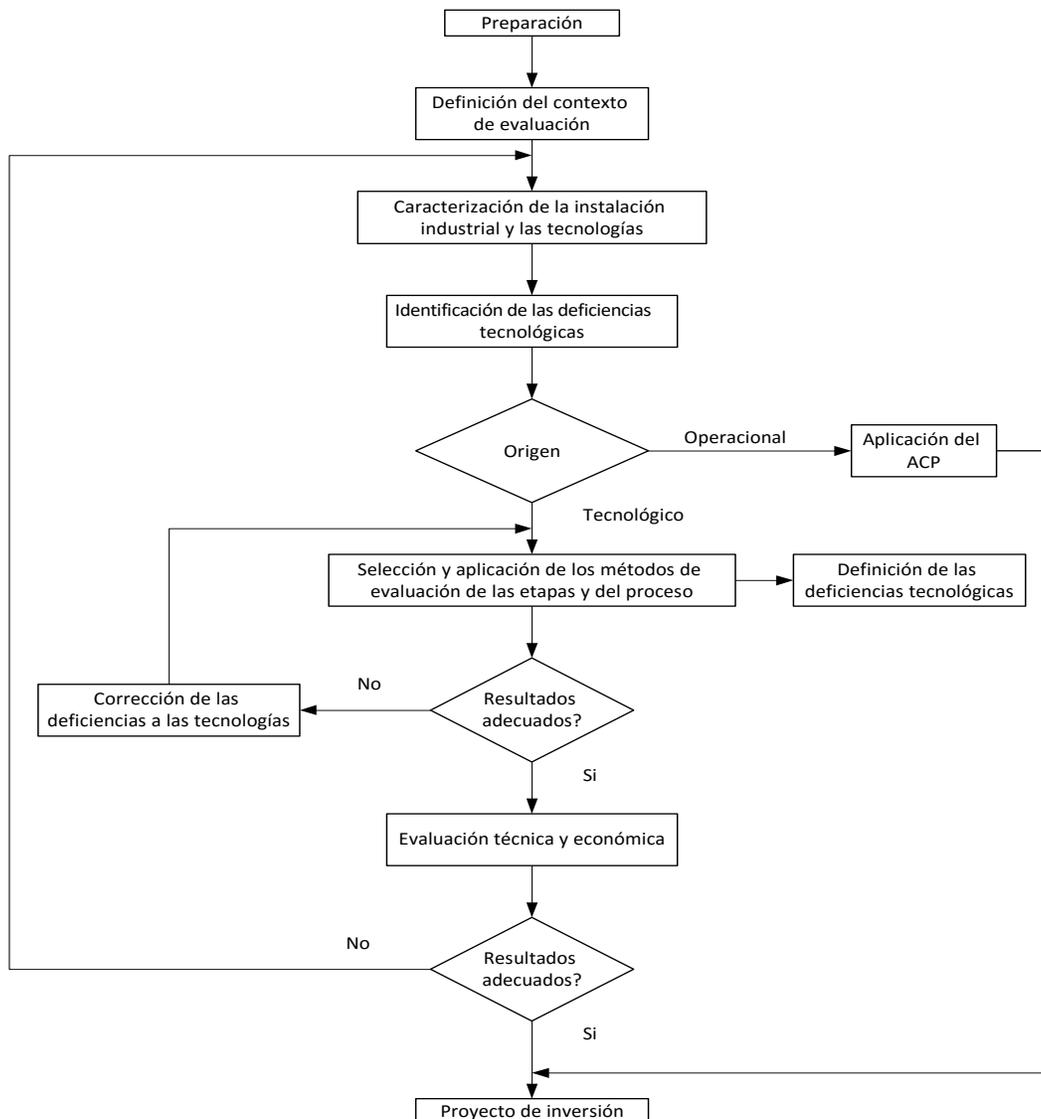


Figura 2.1 Diagrama heurístico de la estrategia de evaluación tecnológica.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

2.2.1.2 Conformación del equipo de trabajo

Se parte de conformar un equipo de trabajo que tendrá como principal función guiar y supervisar el correcto desarrollo del proyecto de planta de moldeados de celulosa propuesto. El equipo podrá estar conformado por personal interno de la organización o mixto, en dependencia de las particularidades de la institución. Este paso debe culminar con la selección de un responsable del equipo por la entidad que conducirá el proceso. Dicho responsable debe tener características de líder en la institución, de esto depende en gran medida el éxito de las transformaciones organizacionales que puedan surgir en el diseño y desarrollo del proyecto. Cualquiera de las variantes seleccionadas por la alta dirección debe estar condicionada a lograr en el equipo, una composición multidisciplinaria, experiencia y potencialidades para ejecutar este proceso. Teniendo en cuenta las características del procedimiento y lo planteado por (Luján García, 2007), se deben considerar otros elementos en la selección de equipo de trabajo, como son:

1. No más de siete personas (para asegurar en mayor medida la participación de los mismos en las reuniones).
2. Parte de sus miembros deben ser del consejo de dirección.
3. Equipo multi-disciplinario (referido a la experiencia por área de trabajo de la institución, este elemento garantiza que los problemas sean atacados desde diferentes puntos de vista).
4. Entre los miembros del equipo deben existir personas que dominen las siguientes áreas del conocimiento (al menos una persona por área): gestión de proyectos, evaluación de tecnologías, proceso productivo de moldeados de celulosa, balances de materiales y de energía mecánica, transferencia de masa y calor, tratamiento de aguas y aguas residuales, modelación y simulación de procesos utilizando el software TIBCO Business Studio.

2.2.1.3 Preparación del personal

Para lograr que el personal se apropie de la cultura que puede imponer la aplicación de esta moderna línea de fabricación de moldeados de celulosa, es necesario comenzar con una etapa preparatoria que consiste en la creación de las condiciones y, sobre todo, el establecimiento de los compromisos del equipo de dirección de la propia organización que participará directamente en el proceso.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

Actividades a realizar:

1. Aplicar un seminario con los directivos de la organización y posteriormente con las personas que van a estar implicadas en el desarrollo del proyecto inversionista, sobre cada uno de los temas mencionados en el cuarto punto del epígrafe anterior.
2. El suministrador de la tecnología se obliga por contrato a prestar la asistencia técnica necesaria para el correcto funcionamiento de la planta. Dentro de la asistencia técnica se incluye la supervisión y capacitación, según las obligaciones y especificaciones establecidas.

2.2.2 Paso 2: Definición del contexto de la evaluación

La definición del contexto de evaluación se enmarca en el área donde se aplica la estrategia para evaluar la tecnología, desde el punto de vista técnico, económico, ambiental y social. Puede ser un equipo, una sección del proceso, un sistema auxiliar o la planta en su totalidad. Específicamente, consta de una de las dos etapas que a continuación se mencionan.

1. Evaluación parcial: secciones, sistemas, líneas y equipos.
2. Evaluación total: fábrica, planta y taller.

2.2.3 Paso 3: Caracterización de la instalación industrial y las tecnologías propuestas a implementar

Este es un paso que incluye varias tareas, y se corresponde con la fase de diagnóstico de la estrategia. En el mismo se confirman los resultados de la caracterización de la instalación y de la tecnología, por medio de la obtención, análisis y procesamiento de la información proveniente de:

- a) Documentación técnica: proyecto técnico de tecnología, proyecto mecánico, proyecto civil, carta tecnológica.
- b) Especificaciones técnicas de los equipos del proceso y sistemas auxiliares. Incluye:
 - Consumos de materias primas, productos auxiliares, servicios.
 - Variables de operación: flujos de materia prima, agua, concentraciones, temperatura, presión.
 - Eficiencia o rendimiento del proceso.
- c) Costos de producción, ganancia y rentabilidad

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

- d) Literatura, patentes, bases de datos, ofertas de tecnologías y equipos.
- e) Particularidades del mecanismo de transferencia tecnológica.
- f) Estudios e investigaciones en la industria.
- g) Consulta a expertos y personal de la fábrica.

2.2.4 Paso 4: Definir origen de las deficiencias asociadas a las tecnologías

En este paso se establece si las deficiencias son de origen operacional o asociadas al proceso de transferencia y a la propia tecnología, en caso de ser de origen operacional se identifican y se continúa con la aplicación del ACP, de lo contrario se procede a la selección y aplicación de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso, correspondiente al paso siete de la estrategia propuesta.

2.2.5 Paso 5: Identificación de las deficiencias tecnológicas

El objetivo de este paso es identificar las principales deficiencias tecnológicas con que cuenta la organización. Estas deficiencias pueden estar dadas, por el mal funcionamiento de las tecnologías instaladas o por la inexistencia de las mismas.

Para identificar las deficiencias de las tecnologías que se encuentran en funcionamiento se debe confrontar los parámetros de operación definidos por la documentación de diseño, con los reportes de operación y la localización de modificaciones realizadas desde su puesta en marcha.

Estos aspectos, a la vez permiten definir aquellas deficiencias que están asociadas a la tecnología, y, por tanto, no son de índole operacional. Las deficiencias operacionales se pueden identificar, superar y mejorar, mediante el análisis de la documentación que rige la operación y/o la aplicación de métodos para la gestión de procesos de negocio (modelación y simulación). Otra de las soluciones para estos problemas es realizar un análisis complejo de procesos como se menciona en el paso cinco de la presente estrategia.

En el caso de que sea necesario comprar una nueva tecnología, es importante identificar las particularidades del mecanismo de transferencia que se utilizará, entre los principales elementos a tener en cuenta se enumeran los siguientes: requerimientos técnicos para su instalación, tecnologías adyacentes que sean necesarias adquirir para soportar su correcto funcionamiento, capacitación del personal encargado de operar la tecnología y por último

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

es necesario realizar un análisis sistema-mantenimiento que facilite determinar los insumos necesarios para realizar el mismo.

2.2.6 Paso 6: Aplicación opcional del Análisis Complejo de Procesos (ACP)

La aplicación del ACP está condicionada a la identificación de deficiencias relativas a los métodos de trabajo en el proceso.

Según (González, 1991) , las direcciones principales de acción del (ACP) están en la elevación de la disponibilidad, y con ello el crecimiento de las capacidades de las plantas, el ahorro de trabajo, la reducción del consumo de materias primas, productos auxiliares y portadores energéticos y recomienda la aplicación del ACP hacia la disponibilidad y calidad de las materias primas y los portadores energéticos, la calidad de los productos, la disponibilidad de la instalación y el mejoramiento de los aspectos vinculados a la contaminación ambiental.

2.2.7 Paso 7: Determinar la necesidad de adquirir una nueva tecnología

Una vez aplicado el ACP se establece la interrogante de si sería necesaria la inclusión de una nueva tecnología. Si los resultados de este método arriban a que la tecnología propuesta no es la correcta a implementar, debido a factores tanto técnicos como ambientales, se regresa al paso dos de la estrategia y se comienza el análisis con la nueva variante tecnológica escogida como caso de estudio. En caso contrario se da por terminada la estrategia de selección de tecnologías.

2.2.8 Paso 8: Selección y aplicación de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso

Este paso se divide en tres elementos: evaluación tecnológica ambiental, evaluación de equipos y sistemas auxiliares y evaluación del proceso, en cada uno de los cuales, la evaluación se puede efectuar con datos del proyecto o de operación, de acuerdo a la disponibilidad de información.

2.2.8.1 Evaluación tecnológica ambiental (ETA)

Teniendo en cuenta que la evaluación del impacto ambiental es un elemento de consideración en todo proceso químico – tecnológico, en la estrategia propuesta se consideran los impactos que se pudieran presentar como resultado de la construcción y

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

operación de la instalación, donde se evalúan las posibles alternativas, se definen recomendaciones para disminuir o evitar los impactos en las áreas y se identifican de forma preliminar los aspectos ambientales de las nuevas instalaciones, aspectos reportados por (Salas, 2007).

La ETA en plantas de moldeados de celulosa debe contener el análisis de los elementos tecnológicos, que afectan la seguridad del proceso y la contaminación ambiental.

2.2.8.2 Evaluación de equipos y sistemas auxiliares

La evaluación se realiza primeramente a las etapas independientes, equipos y sistemas del proceso principal y de los sistemas auxiliares, mediante el uso de los métodos más adecuados, de acuerdo con las características de los mismos. Cada resultado de la evaluación se confronta con la documentación de la planta y la literatura.

Otro aspecto a tener en cuenta en este paso es que los equipos, partes, materiales y otros componentes de la tecnología, así como la producción terminada, cumplan con los requisitos necesarios para su explotación y uso en condiciones de tropicalización.

Para que el equipamiento tecnológico suministrado cumpla con la calidad requerida durante el funcionamiento de la planta, el suministrador de la tecnología debe cumplir con los factores de tropicalización y climatización (parámetros permisibles de humedad ambiental, temperatura, protección de metales a la oxidación, voltajes, amperajes y ciclos de corriente), detallado para cada equipo y de acuerdo a los valores promedios existentes en la localidad donde se ubica la planta.

Para una adecuada evaluación de los equipos y sistemas auxiliares es necesario realizar un balance de materiales y de energía mecánica para determinar los valores de las variables involucradas en el proceso en dependencia de las tecnologías a utilizar. Para la realización de los mismos se tienen en cuenta tanto balances parciales como totales. En este caso los balances de materiales están formados por la determinación de las cantidades de agua y fibra involucradas en las diferentes corrientes que conforman la sección de preparación de pastas, además se observa con un balance parcial sencillo en la sección de moldeado y secado cuánta agua se extrae con las mismas operaciones respectivamente.

Las expresiones matemáticas y los pasos a seguir para realizar los mismos son mostrados a continuación.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

Tabla 2.1 Ecuaciones para los balances de masa total y parcial.

Ecuaciones de la sección de preparación de pastas	
Hydropulper	Pulpa cruda
BT: $P_1 + Af = P_2 + R$	BT: $P_2 + Ab = P_3$
BP: $(1-H) * P_1 = P_2 * (Sp_2)$	BP: $Sp_2 * P_2 + Ab * Sab = P_3 * Sp_3$

Tabla 2.2 Ecuaciones para los balances parcial en la sección de moldeado y secado.

Ecuaciones de la sección de moldeado y secado	
Máquina de moldeados	Túnel de secado
BP: $h_2 * Bh = h_1 * P_4$	BP: $ph * Bh = ps * Bs$

Nomenclatura

P: pulpa que entra o sale a un equipo.

P₁: papel reciclado utilizado como materia prima.

P₂: pulpa desfibrada.

P₃: pulpa diluida.

P₄: pulpa entrada moldeadora.

Bh: bandeja húmeda.

Bs: Bandeja seca.

Af: agua fresca.

Ab: agua blanca.

Ae: Agua extraída.

Sp₂: consistencia de la pulpa desfibrada.

Sp₃: consistencia de la pulpa diluida.

Sab: consistencia del agua blanca.

H: humedad del papel reciclado.

h₁: humedad de pulpa a la entrada moldeadora.

h₂: humedad de pulpa a la salida moldeadora.

ph: peso húmedo de la bandeja.

ps: peso seco de las bandejas.

R: Rechazos.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

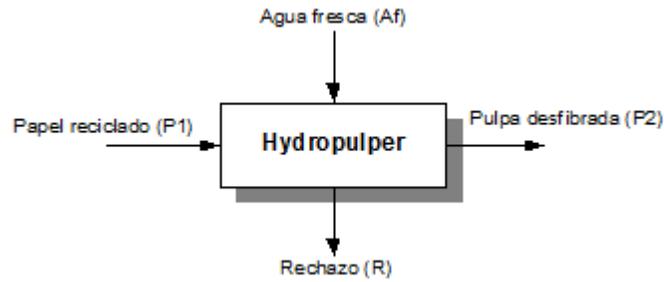


Figura 2.2 Diagrama de bloques del Hydropulper.

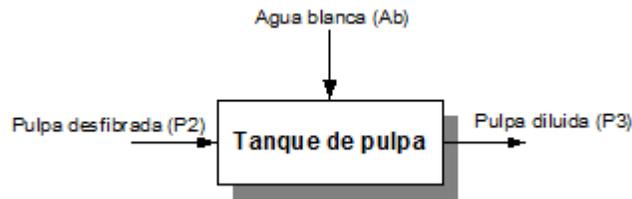


Figura 2.3 Diagrama de bloques del Tanque de pulpa.

Evaluación del sistema de bombeo

Para llevar a cabo los balances de energía mecánica se tomaron los datos de los sistemas de tuberías de cada una de las bombas, correspondientes a la oferta tecnológica dada por el fabricante de la tecnología HARTMANN. En esta fase del estudio se toman los datos reportados por esta firma y los de trabajo de la planta. Como herramienta para realizar los balances se empleó el programa dP¹.

Evaluación de la torre de enfriamiento

Para realizar esta evaluación también se programaron en Excel las ecuaciones de diseño y evaluación para torres de enfriamiento reportadas en la bibliografía, además se utilizaron los datos de dicha torre reportados en el manual de la misma. Se realizaron los cálculos a través de la prueba de garantía, por el método de integración numérica siguiendo la metodología y las ecuaciones siguientes:

Valores	T_L	H^*	H	$\frac{1}{(H^* - H)}$	$\frac{1}{(H^* - H)_{medio}}$
1	---	---	---	---	---
2	---	---	---	---	---
3	---	---	---	---	---
n-1	---	---	---	---	---
n	---	---	---	---	---

Figura 2.4 Procedimiento para el cálculo de Ntog o Ntol de una torre de enfriamiento.

¹Pressure Drop, Martin Koster, 2000, dPhome.tsx.org.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

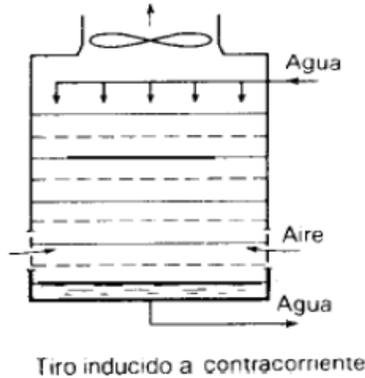


Figura 2.5 Esquema de una torre de enfriamiento de tiro inducido a contracorriente.

Tabla 2.3 Ecuaciones para la evaluación y diseño de una torre de enfriamiento.

Ecuaciones a utilizar	
Línea de operación	$\frac{L * Cal}{Gs} = \frac{H_2 - H_1}{t_{L2} - t_{L1}}$
Entalpía equilibrio	$H^* = 20,91 + 0,08965 * t_L^2$
N _{tol}	$N_{tol} = \frac{(t_{L2} - t_{L1}) * Cal}{n - 1} * \sum \frac{1}{(H^* - H)_{med}}$
N _{tog}	$N_{tog} = \Delta H \sum \left(\frac{1}{H^* - H} \right)_{medio}$
ΔH	$\Delta H = (H_2 - H_1) / n$

Nomenclatura:

L: flujo de agua

Gs': velocidad másica superficial del gas seco

H: entalpía

H*: entalpía de equilibrio

H_{tog}: altura global de una unidad de transferencia de gas

N_{tog}: número de unidades globales de transferencia del gas

t_{L1}: temperatura del agua a la salida

t_{L2}: temperatura del agua a la entrada

CAL: Calor específico del líquido

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

Evaluación del sistema de Flotación por Aire Disuelto (FAD)

Para llevar a cabo esta evaluación se programaron en Excel, las ecuaciones de diseño y evaluación referentes a este sistema suministrado a la firma HARTMANN por vía de KWI, en el cual se tomaron los datos reportados por la bibliografía en su mayor parte, y otros de operación del equipo puesto en marcha.

Como resultado se obtuvieron diferentes gráficas que relacionan tanto los flujos, concentración de aire en el agua, concentración del agua a tratar, por ciento de recirculación, etc.

Se utilizaron las siguientes ecuaciones:

1. $A/S = 1,3 * C_s * R * (f * P - 1) / (Q_o * X_o)$
2. **Carga de SST** = $(Q_o * C_x) / A_s$
3. **Flujo del FAD** = $Q_o + (Q_o * 10\%)$
4. **Tasa de escurrimiento H** = **flujo del FAD** / A_s
5. $A_s = L * A$
6. $tr = V / Q_o$
7. $V_a = Pr / tr$

Nomenclatura:

X_o: solubilidad del aire.

C_s: valor de saturación para aire disuelto.

Q_o: flujo de alimentación.

R: flujo de reciclo.

A_s: área superficial.

L: largo.

A: ancho.

C_x: concentración del agua a tratar.

V: volúmen.

Pr: profundidad.

tr: tiempo de retención.

Evaluación del túnel de secado

Para llevar a cabo esta evaluación, una vez más se programaron en Excel las ecuaciones de diseño y evaluación obtenidas de la metodología para evaluar un túnel de secado reportado en la **Guía de clases prácticas de operaciones unitarias IV**. Las ecuaciones a utilizar se reportan a continuación:

1. $L_s(X_1 - X_2)C_{p\text{ agua}}(100 - TL_1) + L_s(X_1 - X_2)\lambda_{\text{avap}} + L_s(X_1 - X_2)C_{p\text{ vap agua}}(TL_2 - 100)$

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

2.
$$G_{aire\ recir} = \frac{G_s(Y_1 - Y_a)}{(Y_2 - Y_a)}$$
3.
$$G_s = \frac{qt}{C_s(\Delta T)}$$
4.
$$qt = G_s C_s (\Delta T)$$
5.
$$L_s (C_p s) (\Delta T)$$
6.
$$Nt = (Nt)_c + (Nt)_d$$
7.
$$(Nt)_c = LN \left(\frac{t_1 - t_{b.h}}{t_a - t_{b.h}} \right)$$
8.
$$(Nt)_d = \frac{t_a - t_2}{\Delta t_m}$$
9.
$$L_t = 14.5 * b * G^{0.2}$$
10.
$$Z = (Nt)_{total} * L_t$$
11.
$$q_s = \frac{Q\Delta}{m_w} = \frac{m_{air} (h_{in} - h_{out})}{m_{dm} (X_{wp} - X_{dp})}$$
12.
$$(\eta_e) = \frac{Q_w}{Q\Delta} = \frac{m_w \lambda}{Q\Delta}$$
13.
$$(\eta_t) = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{amb}}$$
14.
$$QL_{amb} = (Q_{in} + Q_{wp}) - (Q_{out} + Q_{dp})$$

$$= (h_{in} * m_{air} + h_{wp} * m_{dm}) - (h_{out} * m_{air} + h_{dp} * m_{dm})$$

Nomenclatura:

Z: longitud del túnel de secado.

(Nt)_{total}: número de unidades de transferencia total.

L_t: longitud de una unidad de transferencia.

b: espacio entre charolas.

G: flujo másico a través de la sección transversal.

(Nt)_d: período de velocidad decreciente.

(Nt)_c: período de velocidad constante.

t_{b.h}: temperatura de bulbo húmedo.

G_s: cantidad de aire necesario.

Y₁: humedad del aire a la entrada

Y₂: humedad del aire a la salida

Y_a: humedad del aire atmosférico

qt: calor total para evaporar la humedad + calor para elevar la temperatura del material.

L_s: flujo de material a secar.

X₁: humedad de producto alimentado.

X₂: humedad ambiente.

X_a: humedad crítica.

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

T_{L1} : temperatura del aire atmosférico.

T_{L2} : temperatura del aire a la salida del secadero.

Cps: capacidad calorífica del material seco.

Cs: calor húmedo.

T_{in} : temperatura del aire entrada.

T_{out} : temperatura del aire salida.

T_{amb} : temperatura del aire ambiente.

m_{air} : flujo másico de aire.

h_{in} : entalpía del aire caliente a la entrada.

h_{out} : entalpía de los gases exhaustos.

h_{amb} : entalpía del aire ambiente.

m_{dm} : flujo seco de alimentación.

X_{wp} : humedad del producto húmedo.

X_{dp} : humedad del producto seco.

λ : calor latente para la evaporación del agua.

h_{wp} : entalpía del producto húmedo.

h_{dp} : entalpía del producto seco.

2.2.8.3 Evaluación del proceso

El principal objetivo de este paso es obtener un análisis costo-tiempo y del porciento de utilización de los equipos y/o personas que intervienen en el proceso en dependencia de las tecnologías que se usen en el mismo.

Para el correcto desarrollo de este paso es importante conocer una breve descripción del proceso de moldeado de celulosa de manera general, así como de las tecnologías que forman parte de cada una de las actividades que lo conforman.

La principal materia prima para desarrollar el proceso es un material fibroso compuesto por una mezcla de los papeles reciclados. Como primera operación la materia prima es transportada a un Hydropulper donde se realiza el proceso de desfibrado, se transforma el material fibroso en suspensión, para llevar la fibra a un estado individual, hidratarla, homogeneizarla y transportarla a través de las tuberías. En el propio Hydropulper se le agregan los productos químicos necesarios.

Posteriormente la suspensión fibrosa es bombeada a un sistema de depuración, conformado por un ciclón cuyo objetivo es eliminar las impurezas grandes y pesadas, tales como hierros, maderas, etc., que podrían ocasionar un decremento en la calidad del producto final y sobre todo daños en los equipos. Una vez depurada la suspensión fibrosa es sometida a un

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

tratamiento mecánico suave para desfibrar y tamizar pequeños grumos o trozos de papel a través de un equipo llamado Fibersorter.

Luego la suspensión fibrosa es enviada a un tanque intermedio desde donde se alimenta a una concentración regulada a la máquina de moldeo compuesta por dos rotores para su funcionamiento continuo.

Un tambor hexagonal aspirante con tres hileras de moldes (formador) absorbe la masa de la tina hacia los moldes, concebidos por una malla de trama fina para su desgote, produciéndose un primer proceso de secado por un vacío continuo. Cuando adquieren un estado compacto son transferidos por medio de una corriente de aire comprimido y expulsados hacia otra rueda (transferidor) que los prensa y los deposita sobre el transportador secador.

Después de cada utilización los moldes se limpian con agua a presión.

Un sistema de transporte consistente en un transportador de cadena y otros intermedios que conducen las bandejas a través del túnel de secado que funciona con aire caliente reduciendo el contenido de humedad. El aire húmedo en el túnel es aspirado por la zona inferior y parte de él se expulsa, mientras que el resto se mezcla con aire fresco, se recicla y se vuelve a calentar para ser suministrado a los quemadores de gas (GLP) destinados a calentar el aire fresco de la atmósfera que se suministra al túnel de secado.

Al final del horno las bandejas son apiladas, contadas y empaquetadas en bolsas de polietileno.

En el **Anexo 2** se muestra modelado dicho proceso, para ello se utilizó el software TIBCO Business Studio, dado que además de la modelación el mismo facilita la simulación del proceso. Para llevar a cabo el proceso de simulación y basado en el modelo de proceso antes mencionado, es necesario completar los datos que se muestran en las tablas 1 y 2 del **Anexo 3**. El éxito de este paso depende de la calidad de las estimaciones que el equipo de trabajo realice a la hora de completar los datos que se necesitan para correr cada una de las simulaciones, la cantidad de simulaciones depende de la cantidad de variantes a evaluar.

Todas las estimaciones de tiempo de cada actividad se deben hacer en función del tiempo que se puede demorar cada actividad en procesar un lote de bandejas. Como se puede observar la mayoría de los datos que se necesitan para completar las tablas anteriormente mencionadas se pueden obtener realizando estimaciones a partir de las especificaciones

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

técnicas de las tecnologías a utilizar. En el caso específico de los datos mostrados en la tabla 1 del **Anexo 3**, se pusieron los parámetros de una distribución normal puesto que no se tienen datos históricos para evaluar qué distribución probabilística sigue cada una de las actividades, no obstante, si el equipo de trabajo que está desarrollando la evaluación lo considera pertinente puede cambiar el tipo de distribución y por ende los datos.

Como principales resultados de este paso se obtendrán informaciones relativas del costo y tiempo del proceso que se mencionan a continuación.

1. Análisis costo – tiempo.
2. Gráfico de barra que compara los costos mínimos, promedios y máximos de cada una de las variantes tecnológicas.
3. Gráfico de barras que compara los tiempos mínimos, promedios y máximo por cada una de las variantes tecnológicas.
4. Gráfico de Costo vs. Tiempo con cada una de las variantes.
5. Tabla con el nombre de la tecnología, el tiempo promedio del proceso en minutos y el porcentaje de diferencia de cada tecnología con respecto a la mejor opción.
6. Tabla con el nombre de la variante, el costo promedio del proceso en pesos y el porcentaje de diferencia de cada tecnología con respecto a la mejor opción.

Una vez concluida la simulación el equipo de trabajo cuenta con información valiosa para analizar desde el punto de vista del proceso, cuál es la mejor variante de trabajo.

2.2.9 Paso 9: Análisis de los resultados de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso

Si los resultados obtenidos de la evaluación resultan ser adecuados, se procede a evaluar técnico y económicamente la tecnología. En caso contrario se definen las deficiencias asociadas al proyecto.

2.2.10 Paso 10: Definición y corrección de las deficiencias del proyecto

Con los resultados obtenidos en los tres elementos de evaluación, es decir, evaluación tecnológica ambiental, evaluación de equipos y sistemas auxiliares y evaluación del proceso, se definen y corrigen las deficiencias tecnológicas, se estiman las pérdidas de recursos financieros y se realiza la evaluación económica de las modificaciones propuestas

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

como resultado de la evaluación. En un paso de toma de decisiones se puede optar por modificar el esquema tecnológico a través de un proyecto de inversión.

2.2.11 Paso 11: Evaluación técnico - económica de la tecnología.

El principal objetivo de este paso es realizar un análisis de la rentabilidad, en este caso como ya se encuentra instalada la planta, lo que se propone es un proyecto de inversión en caso de una modificación en la tecnología, de ser encontrada una deficiencia asociada con el proceso de transferencia tecnológica a partir del cálculo del período de recuperación descontado de la inversión (PRD), valor actual neto (VAN) y la tasa interna de rendimiento del proyecto (TIR). En la tabla 2.4 se muestran las expresiones de cálculo de cada uno de estos indicadores, así como los valores meta de cada uno de ellos.

Tabla 2.4 Indicadores para el análisis de la inversión.

Indicador	Expresión matemática	Valor meta
PRD	$\sum_{i=1}^n \frac{Fmi}{(1+r)^y} - Co = 0$	Menor o igual a 10 años
VAN	$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{Fmi}{(1+r)^n} - Co$ <p>donde: Co: Costo inicial de la inversión. F_{mi}: Flujo monetario positivo neto correspondiente al año i. r: Tipo de interés calculatorio. n: Número de años.</p>	Mayor o igual a 0
TIR	$\sum_{i=1}^n \frac{Fmi}{(1+r)^n} - Co = 0$ <p>Donde: r: tipo de rendimiento interno.</p>	Mayor o igual que la tasa de interés vigente en el banco en el momento de la evaluación, aunque es aceptable un valor mayor o igual a 7%

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

Estos métodos se complementan y no son excluyentes entre sí, de ahí la conveniencia que en la práctica no se aplique uno solo de ellos sino varios de manera conjunta.

Los métodos dinámicos ofrecen mayores ventajas que los estáticos, pero a cambio exigen una mayor complejidad de cálculo y una mayor y más precisa información. Se considera como es habitual en la práctica que los flujos de caja son anuales y que cada uno de ellos se genera al final del año que corresponda.

Cuando se analizan varios proyectos será más factible aquel cuyo VAN sea más elevado y cuando analizamos un proyecto éste será factible si su VAN es positivo.

La tasa de rendimiento interna es el tipo de descuento que hace equivalente los valores actuales de los flujos netos y del costo de inversión. Se trata de hallar el valor r para el cual se cumple:

- Si $TIR >$ Tasa de descuento, es favorable hacer el proyecto.
- Si $TIR <$ Tasa de descuento, no es favorable hacer el proyecto.
- Si $TIR =$ Tasa de descuento, es indiferente.

La determinación del TIR se hace mucho más engorrosa que el cálculo de los indicadores anteriores, pues se deben buscar por tanteo las tasas de descuento a la cual el VAN se hace cero.

El mejor proyecto es el que tenga un menor valor de PRD (Chilton, 1960) y (Macías, 1992).

Como se puede observar en la tabla anterior, todos los indicadores parten del flujo de caja, es por ello que a continuación se detalla cómo se puede determinar cada uno de los costos y beneficios implicados en el análisis.

Costo Total de Inversión (CTI)

El CTI está referido al desembolso inicial que se debe realizar antes de que la planta pueda comenzar a operar, este es el costo que normalmente se pone en el año cero de las expresiones antes mencionadas. Entre los elementos que se deben tener en cuenta para la estimación de este costo se encuentran el costo del equipamiento requerido, costo de la instalación del mismo, costo del terreno donde se construirá la planta, otros costos como: tuberías de proceso, servicios, edificaciones, etc. Además, se hace necesario disponer de una cantidad de dinero para el pago de los gastos de operación iniciales. El capital requerido para garantizar las necesidades de operación y las facilidades en planta, se

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

denomina Capital Fijo de Inversión (CFI) y el necesario para los gastos de operación iniciales Capital de Trabajo (CT). La suma del CFI y el CT, se conoce como Costo de Inversión Total (CIT).(Peters, 1991).

$CTI = \text{Capital Fijo de Inversión (CFI)} + \text{Capital de Trabajo (CT)}$

$CFI = \text{Inversión fija} + \text{Gastos previos de producción}$

Capital fijo

- La construcción y montaje está relacionada con el desmontaje del equipamiento perteneciente a una inversión paralizada existente en la nave donde se ubicará el equipamiento tecnológico principal, la demolición de cimentaciones y acarreo de su material, la reparación de techos en naves existentes, acondicionamiento de fachadas, ampliación de capacidades de almacenaje, ejecución de nuevas cimentaciones tecnológicas, montaje tecnológico, entre otros.
- El equipamiento se calcula en base a la oferta dada por el suministrador de la tecnología.

En caso de que no se cuente con suficientes datos para realizar el análisis de costo beneficio, se utilizan los factores de proporción reportados por (Peters, 1991).

2.2.12 Paso 12: Proyecto de inversión

La estrategia para evaluar una inversión o un proyecto lleva implícito una serie de principios metodológicos que se explican a continuación:

- El ámbito de aplicación de la metodología se enmarca en la fase de puesta en marcha de la tecnología.
- La estrategia metodológica puede ser aplicada a otras tecnologías de procesos químicos, donde la etapa correspondiente a la selección y aplicación de los métodos de evaluación es particular para cada tipo de tecnología.

Conclusiones parciales

1. La metodología de evaluación tecnológica para plantas de moldeados de celulosa, integra la utilización de herramientas de simulación y métodos tradicionales de la ingeniería de procesos.
2. Mediante la aplicación del balance de agua, fibra y de energía mecánica se verifica la capacidad de almacenamiento, los consumos de agua, la fibra vertida al medio

Capítulo II. Modelo de evaluación tecnológica

ambiente, la potencia de las bombas y velocidades de los fluidos en las tuberías, con un alto sobrediseño del sistema.

3. Mediante la aplicación de la prueba de garantía se realiza la evaluación del sistema de enfriamiento (torre de enfriamiento), la cual se encuentra operando en óptimas condiciones.
4. La evaluación del diseño y operación del sistema de FAD y del túnel de secado, definen una selección y operación en correspondencia con la información de la documentación de la planta.
5. La utilización de programas computacionales con el propósito de modelar y simular el proceso, constituyen valiosas herramientas en la evaluación de tecnologías antes, durante y posterior a la transferencia, siendo la validez de los resultados obtenidos de estas herramientas directamente proporcionales a la calidad de los datos que le sean suministrados.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

3.1 Introducción

Para comprobar la hipótesis de investigación se aplicó la estrategia de evaluación tecnológica propuesta en el capítulo anterior, con el objetivo de contribuir al proceso de toma de decisiones en la evaluación de la tecnología implementada.

3.2 Aplicación de la estrategia de evaluación tecnológica en la planta de moldeados de celulosa de la UEB Jatibonico

3.2.1 Preparación

- Establecimiento de los compromisos de la organización.

Desde el primer instante, la dirección de la Empresa del Papel asumió el liderazgo del proyecto de investigación, convencidos de la utilidad del mismo para la seguridad alimentaria de la población, ya que ofrecerá garantías de abastecimiento de bandejas para huevos, así como el grado de higienización y calidad de las mismas. Por tal razón los objetivos estuvieron encaminados a:

1. Definir cuál sería la información necesaria para el proceso de toma de decisiones bajo las condiciones de la empresa.
 2. Elaborar e implantar una estrategia de evaluación tecnológica que permita determinar la calidad de la tecnología desde el punto de vista técnico-económico y ambiental para la elaboración de moldeados de celulosa.
- Conformación del equipo de trabajos.

Una vez puesta en marcha, la planta de moldeados ofrece empleo a 58 trabajadores aproximadamente (esto podría cambiar). Del total de trabajadores previstos: 4 son cuadros, 14 técnicos, 38 obreros y 2 de servicios. Atendiendo a lo avanzado de la tecnología adquirida y aprovechando la alta calificación de la fuerza de trabajo, se recomienda la siguiente composición: 13 técnicos superiores y 45 obreros calificados.

De los trabajadores contratados, se capacitaron a diferentes niveles, aproximadamente unos 55 obreros. La obtención de la fuerza de trabajo resulta una combinación de utilizar el potencial que representa el personal de origen papelerero, ya sea que se encuentren dentro de la organización o que muestren interés por incorporarse al proyecto; personal proveniente

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

de la reserva laboral, gestionado a través de la dirección de trabajo, además, de ser necesario, se tendrán en cuenta otras fuentes de empleo, a gestionar ante los correspondientes organismos, tales como: graduados del politécnico “Raúl Galán”, de Jatibonico, especialmente mecanización agrícola y otras carreras técnicas, además del personal calificado que pueda residir cerca de la empresa o del municipio y esté interesado en presentarse a la convocatoria.

- Preparación del personal

El proveedor de la tecnología presenta el plan de entrenamiento y capacitación, que incluye: contenido del entrenamiento y capacitación, método o recursos necesarios, relación de personal especializado que imparte la capacitación, perfil de los profesionales entrenados y capacitados, cronograma y lugar de realización, objetivos y resultados esperados, entre otros aspectos que se consideren.

La parte cubana le suministra al personal seleccionado un entrenamiento teórico práctico en la planta René Bedia, de Calabazar.

La asistencia técnica extranjera impartió un curso básico y de actualización con una duración estimada de unas 120 horas, proporcionando el material bibliográfico y otros recursos necesarios. Sus objetivos fundamentales fueron: proporcionar los conocimientos teórico-prácticos necesarios a supervisores, personal de operación y de mantenimiento, que le permitan dominar la tecnología de fabricación de moldeados de celulosa y de control de proceso, incluyendo los equipos tecnológicos suministrados.

La capacitación abarcó las siguientes áreas principales:

1. Sistema de preparación de pasta.
2. Químicos y fluidos de servicios.
3. Sistema de apilado.
4. Mantenimiento.
5. Control de calidad.
6. Sistema de moldeado.
7. Sistema de secado.

De esta manera, el suministrador de la planta (Hartmann Technology) garantiza la capacitación fuera de Cuba, en una planta similar, a un grupo de especialistas

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

seleccionados, por el período de tiempo y bajo las condiciones que sean acordadas por las partes.

3.2.2 Definición del contexto de evaluación

Se define como contexto de evaluación la elaboración de un programa para la evaluación de la tecnología de fabricación de moldeados de celulosa en la papelera de Jatibonico, que le permita ser competitiva, de esta forma se definen las posibles deficiencias que pudiera tener la tecnología adquirida desde el punto de vista de transferencia tecnológica u operacional; para el montaje de dicha planta se aprovecharon las edificaciones, infraestructura y la ubicación geográfica favorable que brinda la planta paralizada de la fábrica de papel de Jatibonico. Se aplica la estrategia propuesta de acuerdo con el diagrama heurístico explicado en el capítulo anterior.

3.2.3 Caracterización de la instalación industrial y de la tecnología adquirida

Este proyecto es promovido por la Empresa del Papel, del GEIQ (Grupo Empresarial de la Industria Química), perteneciente al MINBAS. Fue originalmente aprobado por el MEP en el plan de inversiones del 2008, para ejecutarse por el flujo financiero de Venezuela, con un presupuesto de 6 297.0 miles de pesos, de ellos 5 775.3 MCUC y 521.7 MCUP bajo el concepto de una planta para producir 50.0 millones de bandejas anuales destinadas al envase de huevos.

Se localiza en Jatibonico, provincia de Sancti Spíritus, en las instalaciones del antiguo combinado de papeles blancos “Panchito Gómez Toro”. Entre las principales ventajas de su ubicación se encuentran precisamente la utilización de instalaciones ya existentes. Otro aspecto a tener en cuenta es la ubicación en el centro del país de estas instalaciones, con los consabidos ahorros de la transportación, habida cuenta de que ya se dispondría de una instalación en La Habana que podría abastecer la región occidental.

Por otra parte, se cuenta con una buena infraestructura de ferrocarril y de transporte por carretera.

Del antiguo Combinado Papeles Blancos, la nueva planta tomaría los suministros de energía eléctrica, así como el agua industrial y de incendio, alcantarillado y servicios telefónicos.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

3.2.3.1 Descripción de la variante tecnológica y sus esferas de utilización

La tecnología que se adquiere se utiliza para la producción de bandejas para huevos (cartones o files), fabricados a partir de recortes de papel y cartón suministrado por la Empresa de Recuperación de Materia Prima. Se producirán 44.8 millones de bandejas en el primer año, llegando a 50 millones cuando la fábrica alcance su plena capacidad. Se fabricará la bandeja para 30 huevos de 60 g, del formato 15 ½ libras.

En la selección de las tecnologías se tuvieron en cuenta varias compañías suministradoras, resultando ser las más destacadas desde el punto de vista técnico tres firmas internacionales, que en la actualidad son los líderes mundiales en el sector de la venta de maquinarias para la producción de bandejas de celulosa reciclada, para el empaque de huevos. Las ofertas fueron las siguientes:

1. HARTMANN TECHNOLOGY (Dinamarca).
2. CLIMA (China).
3. HUHTAMAKY (Holanda).

De estas tres tecnologías se opta por la firma danesa, pues a pesar de ser más cara que la holandesa, esta sí incluía en la cláusula de contrato una posible exportación del producto.

Hartmann Technology: es uno de los tres productores más grandes de maquinarias para el empaquetamiento del huevo mediante moldeados de fibra y un comercializador por excelencia de estas bandejas. Esta compañía se sitúa en Gentofte, Dinamarca. Se localizan cinco de sus sedes en Europa, una en Israel y una en Canadá. El grupo tiene oficinas de ventas en doce países. El gran mercado que tienen los productos de la Hartmann se puede atribuir a su habilidad de tecnología y a su vasta experiencia en la producción de moldeados de fibra desde 1936.

La sustentabilidad y consideraciones medioambientales son elementos íntegros del plan y estrategia de negocios de esta firma. Todos sus productos se basan en el reciclaje de papel y recursos biodegradables. Esta empresa trabaja estrechamente con su cliente para apoyar la necesidad de productos sustentables en el mercado comercial.

Hartmann les vende empaquetamiento para realizar empaques de huevos a productores, distribuidores y a determinadas cadenas que buscan cada vez más la especialización de esta empresa en el mercadeo de huevos.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

3.2.4 Selección y aplicación de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso

3.2.4.1 Evaluación Tecnológica Ambiental (ETA)

Por las características de la instalación no se considera que vaya a tener un impacto ambiental determinante, esto no quiere decir que no se realicen análisis periódicos de los efluentes y de los gases del horno. La principal condición ambiental desfavorable es el ruido, producido por los motores de las máquinas, lo cual se resuelve utilizando tapones contra ruido, en los puestos de trabajo que lo requieran. Se utilizará también el casco de protección, los zapatos de casquillo metálico y la ropa (overoles) adecuada para trabajar en cada posición.

Características de los residuales a tratar en la planta

- Residuales sólidos

Los residuales sólidos que se generan en el proceso son el resultado de la separación mecánica que se produce en dos puntos fundamentalmente: el Hydropulper (donde suelen acumularse determinadas impurezas, generalmente entre las paletas del equipo: plástico, alambres y otros metales) y los rechazos del sistema de depurado (arena, residuos finos de metales, etc.); la evacuación en ambos casos se efectúa en una carreta situada de forma permanente en un punto de recogida establecido al respecto y que suele botarse una o dos veces a la semana, dependiendo del grado de limpieza de la materia prima que entra. Estos residuos serán evacuados hacia el vertedero del antiguo combinado.

- Residuales líquidos

Los residuos líquidos son mínimos y serán evacuados hacia las dos lagunas de oxidación del antiguo combinado. Como se dijo anteriormente esta planta no posee un impacto medioambiental desfavorable, teniendo en cuenta que utiliza fibras recicladas y sus residuales líquidos son mínimos y poco contaminantes, en virtud del alto grado de recirculación y reemplazo de las aguas.

En relación con las características físico-químicas de estos residuales, se exigirá que su pH se encuentre entre 6,5 y 8,5, que los sólidos en suspensión no sobrepasen las 50 partes por millón y que el contenido de grasas y aceites no excedan los diez miligramos por litro.

- Residuales gaseosos

Los residuales gaseosos de la planta son esencialmente los que se generan durante el proceso de secado de las bandejas, es básicamente vapor de agua y dióxido de carbono que

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

se obtiene como residuo de la combustión del GLP en los quemadores del horno del túnel de secado.

3.2.4.2 Evaluación de equipos y sistemas auxiliares

En esta fase del estudio se realizó una evaluación parcial de algunos de los equipos y sistemas auxiliares que intervienen en el proceso, tales como, la torre de enfriamiento, el sistema para el tratamiento de aguas residuales y el túnel de secado, además se realizaron los balances de masa y de energía mecánica. Para la realización de dichas evaluaciones se tuvieron en cuenta los datos reportados por la documentación de la tecnología y los obtenidos de la planta en operación. A continuación, se muestran los resultados de dichas evaluaciones.

Balances de masa

Tabla 3.1 Resultados de los balances de masa.

Ecuaciones básicas	Datos de las corrientes	Resultados
Hydropulper BT: $P_1 + Af = P_2 + R$ BP: $(1-H) * P_1 = P_2 * (Sp_2)$	$P_1 = 10.8 \text{ t/d}$ $H = 7\%$ $Sp_2 = 6 \%$ $R = 5\% * P_1$	$P_2 = 167,4 \text{ t/d}$ $Af = 157,14 \text{ t/d}$
Pulpa cruda BT: $P_2 + Ab = P_3$ BP: $Sp_2 * P_2 + Ab * Sab = P_3 * Sp_3$	$Sp_3 = 4 \%$ $Sab = 0.2\%$	$P_3 = 255,39 \text{ t/d}$ $Ab = 88 \text{ t/d}$
Máquina de moldeados BP: $h_2 * Bh = h_1 * P_4$	$Bh = 37.15 \text{ t/d}$ $h_1 = 98.6 \%$ $h_2 = 72 \%$	$P_4 = 50,87 \text{ t/d}$ $Ae = 13,72 \text{ t/d}$
Túnel de secado BP: $ph * Bh = ps * Bs$	$ph = 215 \text{ g}$ $ps = 62.5 \text{ g}$	$Bs = 10,38 \text{ t/d}$ $Ae = 26,77 \text{ t/d}$

Como resultado de los balances de materiales se determinaron los flujos de agua y fibra que se generan, así como los que se consumen en la sección de preparación de pastas. Además, se determinó la cantidad de agua que se extrae por succión en la máquina de moldeados y

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

por evaporación en el túnel de secado, esta agua es recuperada al proceso una parte, y otro porcentaje pequeño se pierde a la atmósfera en forma de vapor.

Además, se determinó que en el proceso de depuración antes de llegar la pulpa a la máquina de moldeados se eliminan 420 kg de fibra y agua que no es aceptada para las condiciones de moldeado, esta cantidad representa el 3,8 % de la fibra que entra al proceso.

Balances de energía mecánica

Como parte de la evaluación de los equipos se realizó un análisis del sistema de bombeo de las zonas más representativas del proceso con respecto a flujos, se obtienen los datos a partir de datos de chapas de bombas, mediciones de campo y documentación de la firma HARTMANN. Para lograr los resultados se utilizó el programa dP. En el **Anexo 3** se encuentran las tablas de la 1 – 5, las cuales muestran los resultados obtenidos del programa para cada una de las bombas y en las tablas siguientes se reflejan los principales resultados obtenidos con la utilización de dicho programa.

Tabla 3.2 Resultados de la evaluación en el programa dP.

Datos de la bombas			Resultados	
Sección	Flujos (l/h)	Potencia (kW)	Potencia (kW)	Caída de presión (bar)
Pulpa cruda - HD Cleaner	42000	6,5	0,31	0,27
Pulpa lista - Moldeado	18000	5	0,18	0,37
Hydropulper - Pulpa cruda	108000	6	0,83	0,27
Pulpa lista (recirculación)	36000	5	0,26	0,26
Tanque de agua clarificada - HD Cleaner	15000	2,5	0,29	0,70

Como se puede observar en la tabla anterior, los resultados de los consumos de potencia obtenidos en el programa no se asemejan a los datos de las bombas ofrecidos por el fabricante. Los valores de potencias reportados satisfacen los requerimientos de

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

propiedades del fluido y parámetros de operación del sistema, aunque con un alto sobre diseño de la oferta dada por el suministrador de la tecnología. Los valores calculados del consumo de potencia deben ser elevados, debido a la necesidad de un mayor consumo de potencia en la arrancada de los equipos de bombeo. Estos resultados están dados por bajos valores de flujo reportados en la documentación del fabricante.

Tabla 3.3 Resultados de la aplicación del programa dP.

Bombas	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)
Pulpa cruda - HD Cleaner	119	1,05
Pulpa lista - Moldeado	94	0,72
Hydropulper - Pulpa cruda	194	1,01
Pulpa lista (recirculación)	119	0,89
Tanque de agua clarificada - HD Cleaner	54	1,82

Como se puede observar en la tabla anterior se observa que los valores de velocidades obtenidos para los diferentes diámetros se encuentran dentro del rango permisible de velocidades de líquidos en tuberías (0,5 – 2,5 m/s) (Pávlov, 1981).

Torre de enfriamiento

Prueba de garantía de la torre de enfriamiento:

Métodos de evaluación tecnológica de procesos de humidificación:

- Integración Gráfica o método de los trapecios
- Integración numérica
- Aproximado o de Baker

La torre de enfriamiento fue evaluada por el método de integración numérica.

El caso de estudio es una torre de enfriamiento de tiro inducido con un empaque ordenado, de poliéster reforzado con vidrio, para realizar la evaluación se realiza una prueba de garantía, con los datos siguientes:

Tabla 3.4 Datos de las corrientes de entrada y salida de la torre de enfriamiento.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Datos			
Cap cal (Cal)	4.187 KJ/Kg (°C)	tL1 (salida)	30 (°C)
Flujo de agua (L)	3.3 Kg/s	tL2 (entrada)	45 (°C)
Densidad del agua (ρ)	1000 (Kg/m ³)		

Tabla 3.5 Datos de prueba y diseño para la evaluación de la torre de enfriamiento.

	Tw (°C)	Tg (°C)	H1 (KJ/Kg a.s)	H2 (KJ/Kg a.s)	Y' (Kg v.a/Kg a.s)
Prueba	23	30	63	100	0,014
Diseño	27	30	84	100	0,021

Tabla 3.6 Método de integración numérica para condición de diseño.

Método de integración numérica							
Tw = 27 °C (Condición de diseño)							
tL	H	H*	H*-H	(H*-H)med	1/(H*-H)med	$\sum 1/(H*-H)med$	Ntog calc
30	84	101,5950	17,5950	23,2739	0,0430	0,1015	0,2335
32,5	86,65	115,6028	28,9528	35,1920	0,0284		
35	89,3	130,7313	41,4313	96,4616	0,0104		
37,5	91,95	146,9803	55,0303	124,7803	0,0080		
40	94,6	164,3500	69,7500	155,3403	0,0064		
42,5	97,25	182,8403	85,5903	188,1416	0,0053		
45	99,9	202,4513	102,5513				

$$\Delta H = 1,06$$

Tabla 3.7 Método de integración numérica para condición de prueba.

Método de integración numérica							
Tw = 23 °C (Condición de prueba)							
tL	H	H*	H*-H	(H*-H)med	1/(H*-H)med	$\sum 1/(H*-H)med$	Ntog calc
30	63	101,5950	38,5950	42,4739	0,0235	0,0699	0,3705
32,5	69,25	115,6028	46,3528	50,7920	0,0197		
35	75,5	130,7313	55,2313	120,4616	0,0083		
37,5	81,75	146,9803	65,2303	141,5803	0,0071		
40	88	164,3500	76,3500	164,9403	0,0061		
42,5	94,25	182,8403	88,5903	190,5416	0,0052		
45	100,5	202,4513	101,9513				

$$\Delta H = 2,5$$

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica



Figura 3.1 Prueba de garantía.

Como se puede observar luego de emplear este método se llegó a la conclusión de que la torre de enfriamiento está operando en las condiciones óptimas pues para una temperatura de bulbo húmedo (T_w) de prueba de 23 °C menor que la temperatura de bulbo húmedo de diseño de 27 °C el valor de N_{tog} de prueba con valor de 0.3705 es mayor que el N_{tog} de diseño con un valor de 0.2334 y de esta forma queda completada la prueba de garantía para dicha torre con un resultado satisfactorio.

Cálculo de las dimensiones de la torre de enfriamiento para los datos de diseñador

$$Z = N_{tog} * H_{tog} = N_{tol} * H_{tol} \quad N_{tog} = 0.2334$$

$$Z = N_{tog} * H_{tog} \quad G_s = 13.01 \text{ Kg a.s/s}$$

$$A = G_s * v_H / u \quad u = (1.8-2.4) \text{ m/s} \quad v_H = (0.00283 + 0.00456 * Y^1) * T_g + 273$$

$$A = 13.01 * 0.89 / 2.1 \quad v_H = (0.00283 + 0.00456 * 0.021) * (30 + 273)$$

$$A = 5.51 \text{ m}^2 \quad v_H = 0.89 \text{ m}^3/\text{kg a.s}$$

$$G's = G_s / A \quad K_{ya} = 1.56 G's^{0.75} (\text{Polyester})$$

$$G's = 13.01 / 5.51 \quad K_{ya} = 1.56 * (2.36)^{0.75}$$

$$G's = 2.36 \text{ Kg a.s/s.m}^2 \quad K_{ya} = 2.97$$

$$H_{tog} = G's / K_{ya}$$

$$H_{tog} = 2.36 / 2.97 = 0.79 \text{ m}$$

$$Z = N_{tog} * H_{tog} \quad D = (4 * A / \pi)^{1/2}$$

$$Z = 0.2334 * 0.79 = 0.1843 \quad D = (4 * 5.51 / 3.14)^{1/2} = 2.65$$

Evaluación del sistema de flotación por aire disuelto

Selección del sistema de tratamiento de las aguas residuales

En la planta de moldeados de celulosa de Jatibonico se tiene instalado un sistema de Flotación por Aire Disuelto (FAD, para el tratamiento de las aguas residuales pues este permite una mayor carga de sólidos en el agua, tiene una alta eficiencia en la remoción de sólidos y alta tasa de separación, gran eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos,

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

generalmente superando los valores obtenibles con los decantadores más eficientes. Además, tiene la habilidad para extraer los contaminantes que pueden causar problemas y puede tolerar alta carga superficial. En el **Anexo 5** se muestra gráficamente el funcionamiento del mismo.

Tabla 3.8 Dimensiones equipo de flotación por aire disuelto.

<i>Parámetro</i>	<i>U/M</i>	<i>Valor</i>
Largo	m	3,70
Ancho	m	1,70
Altura	m	2,60
Área	m ²	6,29
Flujo a Tratar	m ³ /h	39

Diseño del equipo de flotación

Cálculo de los parámetros para la evaluación

-Velocidad de ascenso del lodo

Datos

Ancho: 1,7

Largo: 3,7 m

Profundidad: 2,6 m

Volumen: 16,35 m³

Flujo: 39 m³/h

Tiempo de retención = volumen/flujo = 0,419 h

Velocidad de ascenso = profundidad/tiempo = 6,2 m/h = 0,10 m/min

-Tasa de escurrimiento hidráulica

Area superficial = largo·ancho = 6,29 m²

Flujo del FAD = Flujo +(flujo·10%) = 39m³/h + 3,9m³/h = 42,9m³/h

Tasa de escurrimiento H = flujo del FAD/área = 6,82 m³/m² h = 163,68 m³/m² d

La tasa de escurrimiento hidráulica para el sistema de FAD se encuentra en el rango establecido siendo este de 72-480 m³/m² *d

-Tasa de escurrimiento de sólidos (tasa de carga superficial)

Carga de SST = (flujo·concentracion)/área = 9,73 lb/h /67,68 pie² = 0,14 lb/h pie²

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

La tasa de escurrimiento de sólidos para el sistema de FAD se encuentra por debajo del rango establecido, siendo este de 1-6 lb/h pie², sin embargo el objetivo es no exceder este valor y degradar los sólidos antes de que se separen por el sistema de cadena y paleta.

Para realizar la simulación se utilizó el Microsoft Excel.

Relación aire/sólido (A/S)

$$A/S = 1,3 * C_s * R * (f * P - 1) / (Q_o * X_o)$$

Datos

$C_s = 85 \text{ mg/l}$ a 30°C

$C_x = 0,115 \text{ g/L}$

X_o (mg/l) de 0,16-8

P (atm)=6

f (0,5-0,8)= 0,7

Se puede graficar A/S en función de la variación de R, P o f, el comportamiento de la clarificación podría diferir en cada variación. Si se fija f o P, se obtiene el efecto de R sobre A/S.

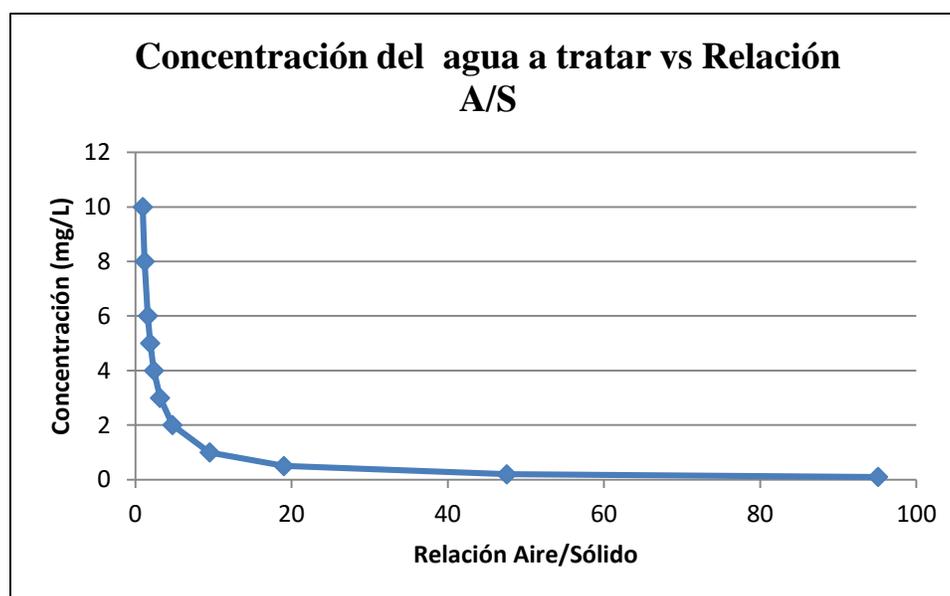


Figura 3.2 Concentración vs Relación A/S.

El gráfico muestra que a medida que aumenta la relación aire/sólido disminuye la concentración, pero no lo suficiente como para estar en el rango establecido entre 0,01- 0,2,

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

siendo estos valores para altas concentraciones de sólidos disueltos, los valores determinados para el sistema FAD son elevados por la pequeña concentración de los sólidos.

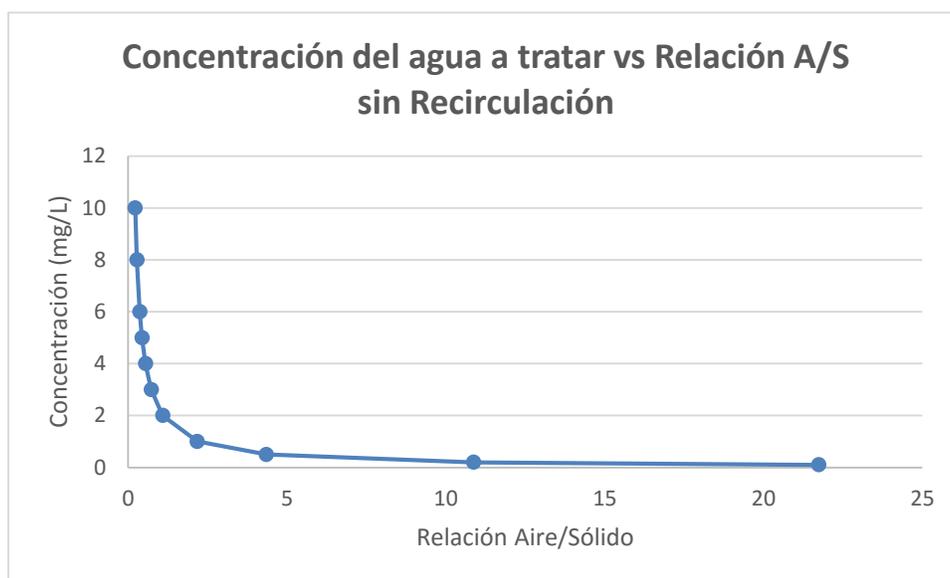


Figura 3.3 Concentración vs Relación A/S sin Recirculación.

En la gráfica anterior se puede observar que con una eliminación de la recirculación la relación aire/sólido disminuye desde 100 hasta 20 aproximadamente.

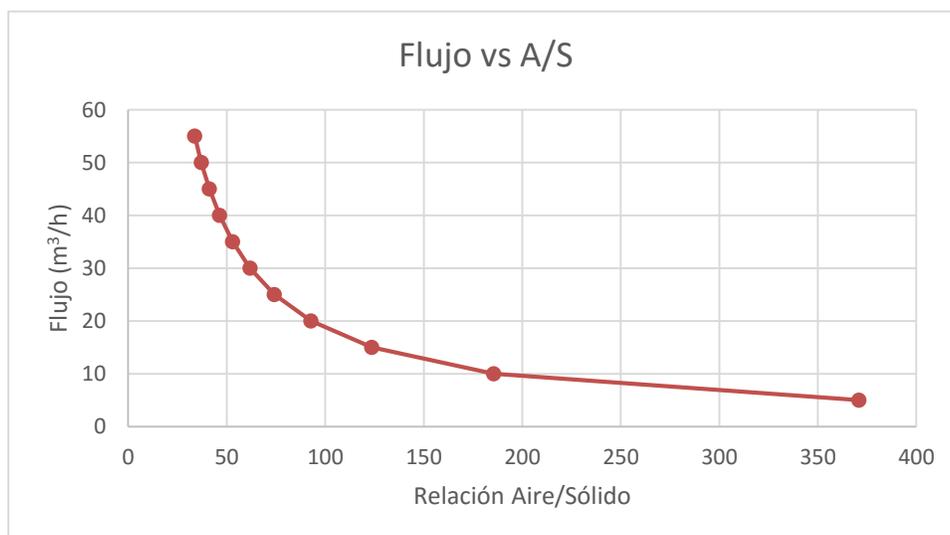


Figura 3.4 Flujo vs Relación A/S.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

A medida que aumenta la relación aire/sólido disminuye el flujo, encontrándose con un comportamiento adecuado. Es decir, los aumentos de flujo determinan que el sistema requiera menor suministro de aire, por tanto aumentos excesivos de aire pueden alterar el proceso de flotación, tanto en los lodos como en el flotado.

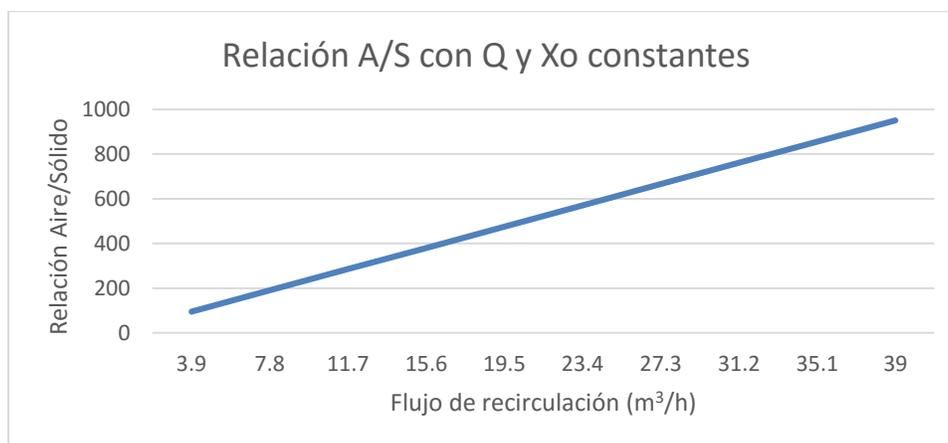


Figura 3.5 Por ciento de Recirculación vs Relación A/S.

En la figura anterior se observa la relación A/S aumenta progresivamente con el por ciento de recirculación, por tanto, la recirculación de agua determina la relación aire /sólidos en la celda, lo cual debe ser lo más alta posible; sin embargo, una recirculación excesiva puede producir turbulencia que destruiría flóculos débiles, afectando la eficiencia del FAD (Salas, 2004).

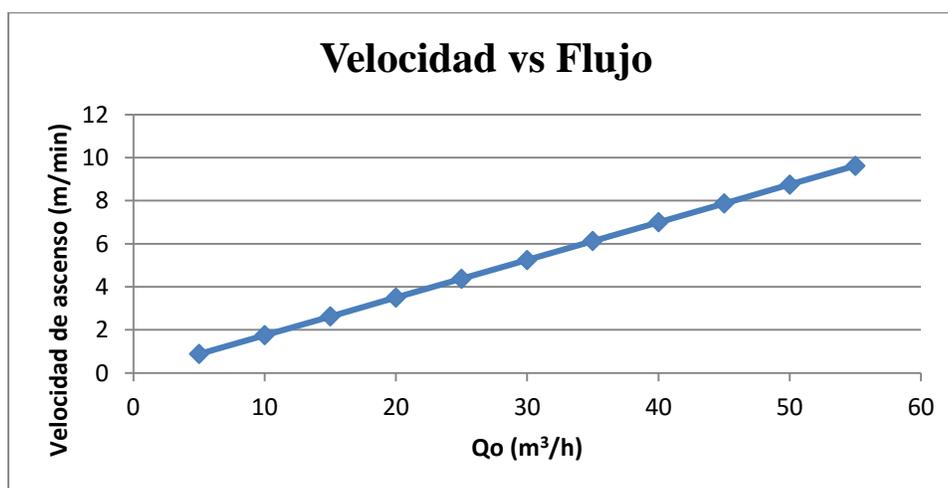


Figura 3.6 Velocidad vs Flujo.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Se observa que, con el aumento del flujo del sistema, hay un aumento progresivo de la velocidad de ascenso del lodo, lo que indicada que este proceso se encuentra en condiciones normales de operación según este parámetro.

-Efecto de la presión en la concentración de aire que sale del tanque de presurización (P vs Cp).

$$C_p = f \cdot C_s \cdot (P/1 \text{ atm})$$

$$C_p = 0,65 \cdot 20,9 \cdot (P/1 \text{ atm})$$

$$C_p = 13,58 \cdot (P/1 \text{ atm})$$

Nomenclatura

Cp: concentración del aire disuelto que sale del tanque de presurización (mg/l)

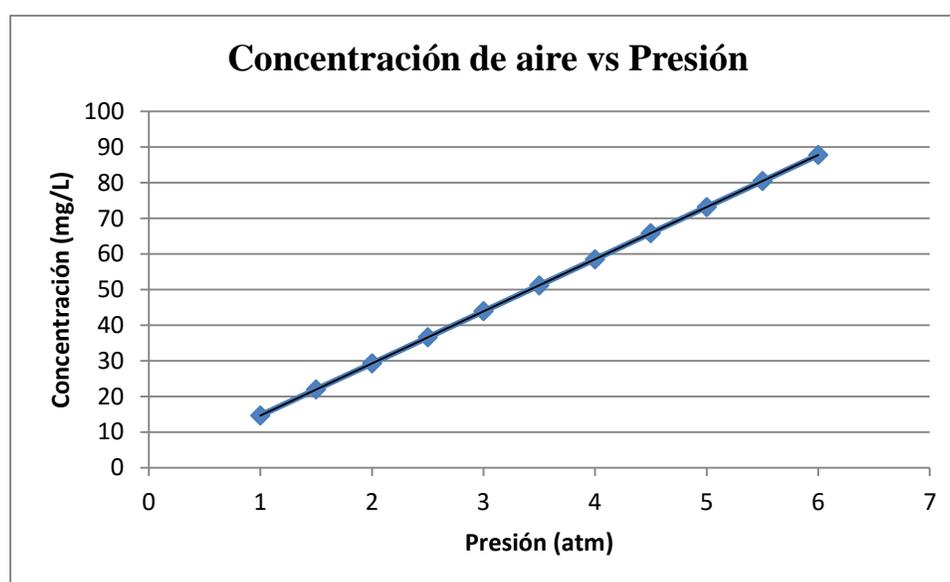


Figura 3.7 Concentración de aire vs Presión.

Con un aumento de la presión se eleva la concentración del aire disuelto, no presenta ninguna anomalía en esta relación, excepto cuando la presión de aire no se encuentra en el rango definido por tecnología.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

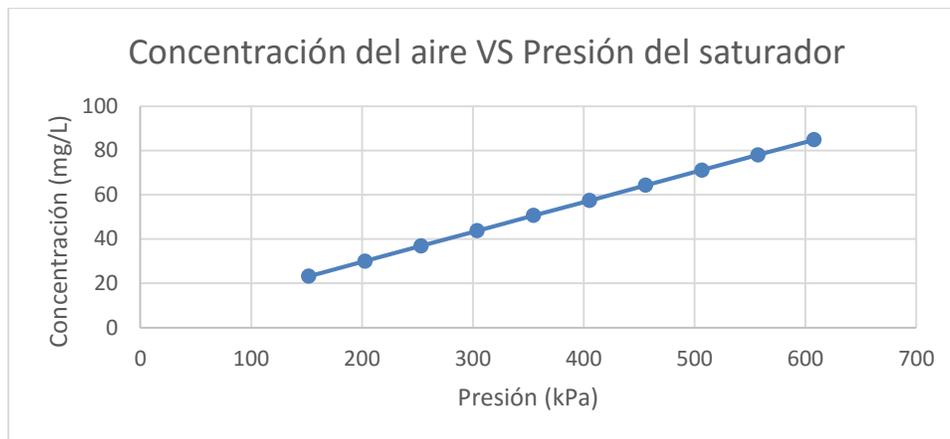


Figura 3.8 Concentración de aire vs presión con el programa (DesDaf).

La figura anterior se desarrolla con los valores obtenidos del programa DesDaf para sistemas de Flotación por Aire Disuelto (FAD), en ella se puede observar que los valores de concentración varían con respecto a la presión exactamente igual que con los valores obtenidos por la ecuación $C_p = f \cdot C_s \cdot (P/1atm)$, dato que indica el correcto funcionamiento del sistema de saturación. En el **Anexo 6** se observa la aplicación del programa

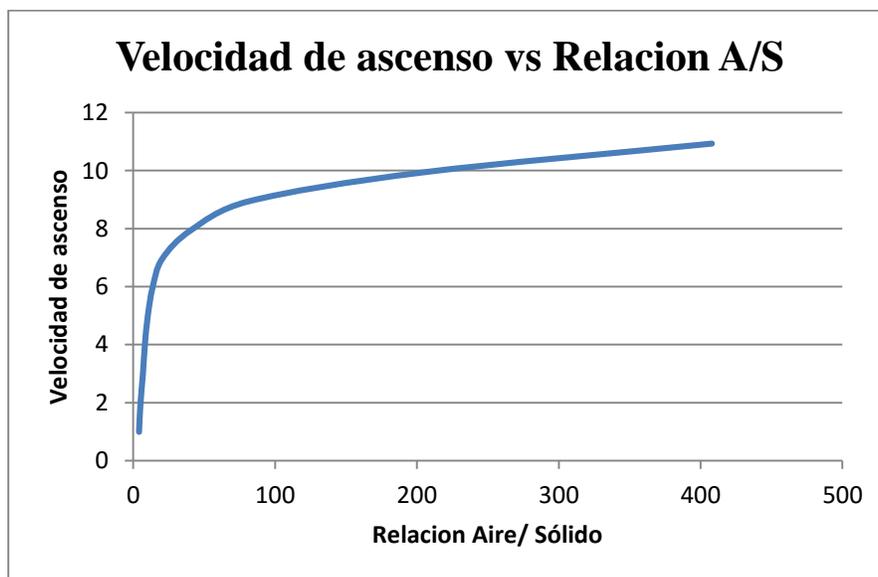


Figura 3.9 Velocidad vs Relación A/S.

Se observa en el gráfico que con el aumento de la relación aire/sólido hay un aumento de la velocidad de ascenso, esto significa que el comportamiento es adecuado. Pero hay que mantener una relación que no altere el tamaño de las burbujas de aire, pues un aumento

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

considerable del flujo de aire puede provocar aumento del tamaño de las mismas, provocando efectos no deseados, tales como la formación de espumas, turbulencia, contrarrestando el ascenso normal de las partículas.

Evaluación del túnel de secado

Se desea calcular el tamaño aproximado de un secador de túnel para producir 619,2 kg/h de un producto con un 72 % de humedad. El material húmedo alimentado son bandejas para huevos a 50 °C que contiene 2,57 kg de agua/kg de producto seco. La densidad es de 16,37 Kg/m³. Los ensayos y datos obtenidos de bibliografía indican que el contenido crítico de humedad es aproximadamente 0,45 kg de agua/kg de material seco. La temperatura del aire a la entrada es de 200 °C. El calor específico del material seco es 0,3 kcal/kg-°C. El aire atmosférico tendrá una temperatura de 25 °C y una humedad de 0,01 kg agua/kg aire seco. La máxima cantidad de aire que puede usarse sin correr el riesgo de que se levanten las bandejas es 9500 kg/h-m². Se ha supuesto que el material sale del secador a 140 °C y que el aire a la salida es de 90 °C. Se supondrá que la humedad del aire entrante es de 0,03 kg de agua/kg de aire seco para permitir alguna recirculación.

Tabla 3.9 Datos para la evaluación del túnel de secado.

Datos	
Alimentación (Ls), kg/h	619,2
Humedad de prod.aliment (X1), kg agua/kg prod.seco	2,57
Humedad ambiente (X2) y (Ya), kg agua/kg a.s	0,01
Humedad crítica (Xa), kg agua/kg prod.seco	0,45
Humedad aire entrante (Y1), kg agua/kg a.s	0,03
Densidad (ρ), kg/m ³	16,37
T aire entrada, °C	200
T aire salida (TL2), °C	90
T material seco, °C	140
T material húmedo, °C	50
T aire atmosférico (TL1), °C	25
Capacidad calorífica (Cps), kcal/kg · °C	0,3
Flujo másico de aire (G), kg/h · m ²	9500
Espacio entre bandejas (b), m	0,07

Gráfico del túnel de secado:

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

1.1.2) Calor para elevar la temperatura del material

$$Ls(Cps)(\Delta T) = 619,2 (0,3)(140 - 50) = \mathbf{16718,40 \text{ kcal/h}}$$

$$\mathbf{Q \text{ total} = 137702,15 + 16718,40 = 154420,55 \text{ kcal/h}}$$

1.1.3) Sustituyendo en (II)

$$G_S = \frac{154420,55}{0,254(200-90)} = \mathbf{5526,86 \text{ kg/h}}$$

1.2) Humedad Y2 al salir del secador es:

$$G_S (Y_2 - Y_1) = L_S (X_1 - X_2)$$

$$5526,86 (Y_2 - 0,03) = 619,2 (2,57 - 0,01)$$

$$\mathbf{Y_2 = 0,32}$$

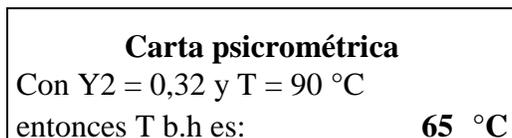


Figura 3.11 Carta psicrométrica.

$$G_{\text{aire recir}} = \frac{G_S(Y_1 - Y_a)}{(Y_2 - Y_a)} = \frac{619,2 (0,03 - 0,01)}{(0,29 - 0,01)} = \mathbf{360,28 \text{ kg/h}}$$

$$\% \text{aire recir} = \frac{360,28}{5526,86} (100) = \mathbf{6,52}$$

2) El número de unidades de transferencia total será:

$$Nt = (Nt)_c + (Nt)_d$$

$$(Nt)_c = LN \left(\frac{T_1 - t_{b.h}}{t_c - t_{b.h}} \right) \text{ (Período de velocidad constante) (III)}$$

$$(Nt)_d = \frac{t_c - t_2}{\Delta t_m} \text{ (Período de velocidad decreciente)}$$

2.1) Cálculo de la temperatura a la entrada de la zona de velocidad constante

-Cantidad total de calor

-Diferencia total de temperatura

154420,55 kcal/h

para provocar

(200 - 90)

Cantidad de calor necesario para la sección de intensidad constante:

$$Ls(X_1 - X_a)\lambda_{\text{avap}} + Ls(X_1 - X_a)Cp_{\text{agua}}(100 - 25)$$

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

$$619,2 (2,57 - 0,45)(16,37) + 619,2(2,57 - 0,45)(1)(75) = \mathbf{119941,76 \text{ kcal/h}}$$

Calor para la sección

La diferencia de temperatura en la sección

de intensidad constante

de intensidad constante

$$\mathbf{154420,55 \text{ kcal/h}}$$

$$\mathbf{(200 - 90)}$$

$$\mathbf{119941,76 \text{ kcal/h}}$$

$$\mathbf{(T1 - 90)}$$

$$(T1 - 90) (154420,55) = (200 - 90) (119941,76)$$

$$\mathbf{T1 = 175,44 \text{ }^\circ\text{C}}$$

2.2) Sustituyendo en la ecuación (III)

$$(Nt)c = LN \left(\frac{175,44 - 65}{90 - 65} \right) = \mathbf{1,49}$$

$$(Nt)d = \frac{t_c - t_2}{\Delta t_m}$$

$$t_1 = 175,44 - 65 = \mathbf{110,44 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$t_2 = 200 - 140 = \mathbf{60 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$t_m = (110,44 - 60) / LN (110,44/60) = \mathbf{82,67 \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$(Nt)d = \frac{200 - 175,44}{82,67} = \mathbf{0,3}$$

$$Nt = 1,49 + 0,3 = \mathbf{1,79}$$

3) Longitud de una unidad de transferencia

$$Lt = 14,5 * b * G^{0,2}$$

El espacio entre bandejas es de $b = 0,12 \text{ m}$

$$Lt = 14,5 * (0,12) * (9500)^{0,2} = \mathbf{10,87 \text{ m}}$$

4) La longitud total del túnel de secado es:

$$Z = (Nt)_{total} * Lt$$

$$Z = 1,79 * 10,87 \text{ m} = \mathbf{19,37 \text{ m}}$$

Entonces se puede concluir que el túnel de secado está funcionando correctamente $Z_{cal} = Z_{real}$ aproximadamente siendo Z_{real} de 21 m, en este valor pueden influir los errores de

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

medición tanto de temperaturas como de humedad, o las condiciones ambientales, así como las características de cada tipo de materia prima y materiales en la fabricación de la pulpa entre otros.

Tabla 3.10 Variación de la eficiencia térmica con respecto a la temperatura del aire entrada del túnel.

T aire entrada (T_{in})	Eficiencia térmica (η_t)
160	51,85
170	55,17
180	58,06
190	60,61
200	62,86
210	64,86
220	66,67
230	68,29
240	69,77

Tabla 3.11 Variación de la eficiencia térmica con respecto a la temperatura del aire ambiente.

T aire ambiente (T_{amb})	Eficiencia térmica (η_t)
20	61,11
22	61,80
24	62,50
26	63,22
28	63,95
30	64,71
32	65,48
34	66,27
36	67,07

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Tabla 3.12 Variación de la eficiencia térmica con respecto a la temperatura del aire a la salida del túnel.

T aire salida (T_{out})	Eficiencia térmica (η_t)
70	74,29
80	68,57
90	62,86
100	57,14
110	51,43
120	45,71
130	40,00
140	34,29
150	28,57

En las tablas anteriores se puede observar como es afectada la eficiencia térmica del horno cuando varía la temperatura ambiente, la temperatura del aire a la entrada del túnel y la temperatura del aire a la salida.

Como otros datos auxiliares de evaluación se calcularon la eficiencia energética (η_e), la eficiencia térmica (η_t) y el calor perdido al ambiente (QL_{amb}) para ello se tomaron los siguientes datos:

Tabla 3.13 Datos para el cálculo de la eficiencia energética, eficiencia térmica y el calor perdido al ambiente.

Datos	
Flujo másico de aire (mair), kg/h · m ²	9500
Entalpía del aire caliente a la entrada (hin), kJ/kg dry air	453,44
Entalpía de los gases exhaustos (hout), kJ/kg dry air	402,42
Entalpía del aire ambiente (hamb), kJ/kg dry air	301,25
Flujo seco de alimentación (mdm), kg/h	370
Humedad del producto húmedo (Xwp), kg water/kg dm	2,57
Humedad del producto seco (Xdp), kg water/kg dm	0,86
Calor latente para la evaporación del agua (λ), kJ/kg water	2256,5
Entalpía del producto húmedo (hwp), kJ/kg da	62,5
Entalpía del producto seco (hdp), kJ/kg da	175
T aire entrada (Tin), °C	200
T aire salida (Tout), °C	90
T aire ambiente (Tamb) °C	25

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

La energía específica consumida es:

$$q_s = \frac{Q\Delta}{mw} = \frac{m \text{ air } (h_{in} - h_{out})}{m \text{ dm } (X_{wp} - X_{dp})}$$

$$q_s = \frac{Q\Delta}{mw} = \frac{9500 (453,44 - 402,42)}{370 (2,57 - 0,86)} = \mathbf{2285,14 \text{ kJ/kg water}}$$

La eficiencia energética sería:

$$(\eta_e) = \frac{Q_w}{Q\Delta} = \frac{mw \lambda}{Q\Delta} 100$$

$$(\eta_e) = \frac{Q_w}{Q\Delta} = \frac{370 (2,57 - 0,86) 2256,5}{9500 (453,44 - 402,42)} 100 = \mathbf{98,75 \%}$$

La eficiencia térmica sería:

$$(\eta_t) = \frac{T_{in} - T_{out}}{T_{in} - T_{amb}} 100$$

$$(\eta_t) = \frac{200 - 90}{200 - 25} 100 = \mathbf{62,86 \%}$$

El calor perdido al ambiente por radiación y convección sería:

$$Q_{L \text{ amb}} = (Q_{in} + Q_{wp}) - (Q_{out} + Q_{dp}) \\ = (h_{in} * m \text{ air} + h_{wp} * m \text{ dm}) - (h_{out} * m \text{ air} + h_{dp} * m \text{ dm})$$

$$Q_{Lamb} = (Q_{in} + Q_{wp}) - (Q_{out} + Q_{dp}) = (453,44 * 9500 + 62,5 * 370) - (402,42 * 9500 + 175 * 370) = 443065 \text{ kJ/h} = 123 \text{ kW}$$

3.2.4.3 Evaluación del proceso

En esta fase del estudio se realizó la modelación y simulación del proceso de moldeados de celulosa, usando como herramienta el software TIBCO Business Studio. Se efectuaron varias corridas de simulación, comparando diferentes variantes de operación del proceso con respecto a los tiempos de utilización de cada equipo y de su operador si este lo incluye. Las estimaciones de tiempo realizadas estuvieron dadas por el tiempo que demora cada actividad en procesar un lote de 200 bandejas. Como resultado se obtuvo un análisis costo-tiempo, el cual se detalla a continuación.

La **figura 3.12** muestra la relación de tiempo (minutos) mínimo, promedio y máximo que demora cada variante de operación en producir un lote de bandejas. Como se puede

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

observar existen diferencias entre las variantes analizadas, lo cual se evidencia en la **tabla 3.14**.

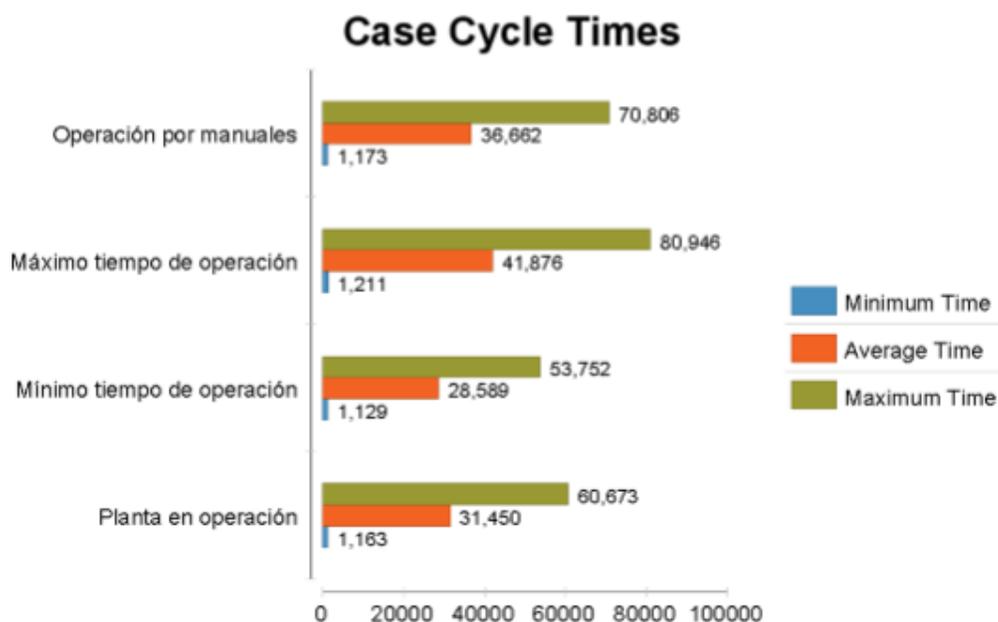


Figura 3.12 Ciclo de tiempo (min) para cada variante operacional.

Tabla 3.14 Tiempo promedio (min) del proceso y porcentaje de diferencia de cada variante de operación.

Experiment	Average Case Time	% Difference
Máximo tiempo de operación	41876	33.15
Mínimo tiempo de operación	28589	-9.10
Operación por manuales	36662	16.57
Planta en operación	31450	0.00

En la tabla anterior se observa que la planta operando actualmente solo se diferencia de la operación comparando con los manuales en un 16,57 % con respecto al tiempo promedio

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

de operación de la misma, esto significa que el proceso se está desarrollando adecuadamente.

En el gráfico de barras siguiente, se observa como aumenta la cantidad de dinero requerida para producir un lote de 200 bandejas una vez que aumentan los tiempos de operación y de utilización de los equipos y los participantes.

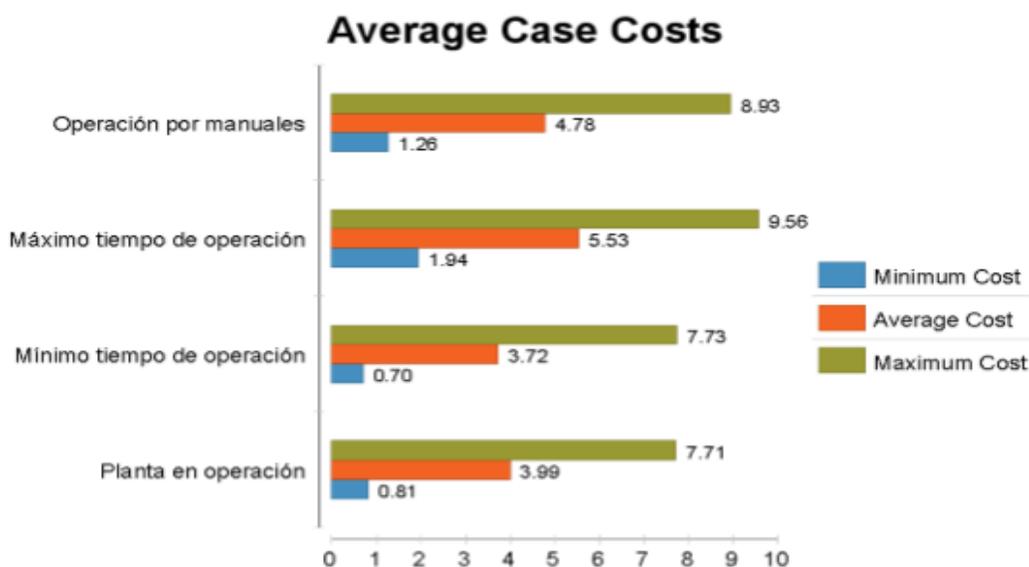


Figura 3.13 Relación de costos (\$) mínimos, promedios y máximos para cada variante operacional.

Tabla 3.15 Costo promedio (\$) del proceso y porcentaje de diferencia de cada variante de operación.

Experiment	Average Case Cost (\$)	% Difference
Máximo tiempo de operación	5.532	38.61
Mínimo tiempo de operación	3.722	-6.75
Operación por manuales	4.781	19.78
Planta en operación	3.991	0.00

Se observa en la tabla anterior al igual que la tabla del tiempo promedio de operación de la planta, que la misma se encuentra trabajando con una diferencia del 19,78 % en

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

comparación con la operación por manuales con respecto al costo promedio de operación (\$), resultado que indica que se encuentra en condiciones normales de trabajo.

En los gráficos siguientes se muestra la comparación de la variante tecnológica operando en máximas condiciones de operación, con una variación del número de almaceneros.

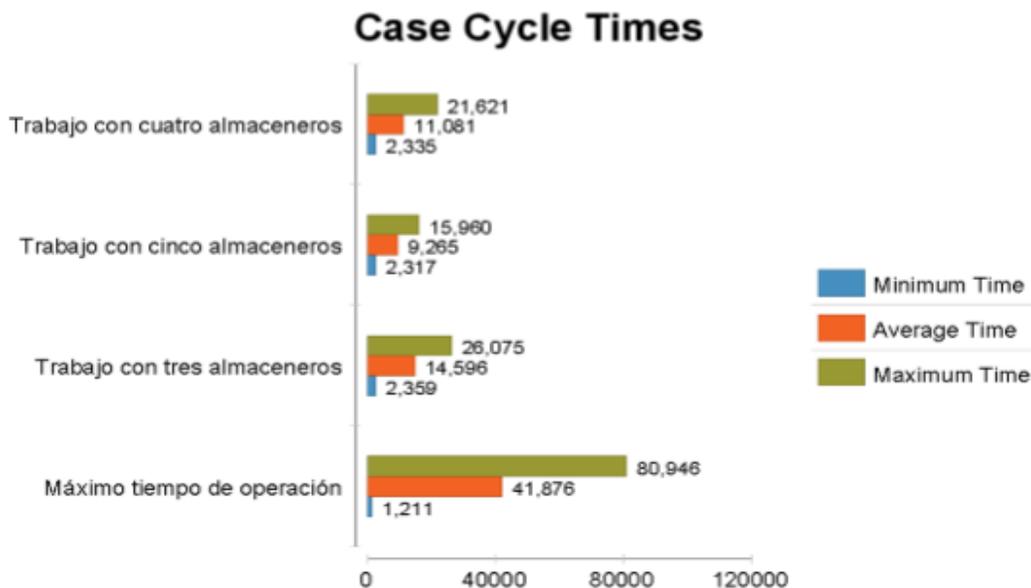
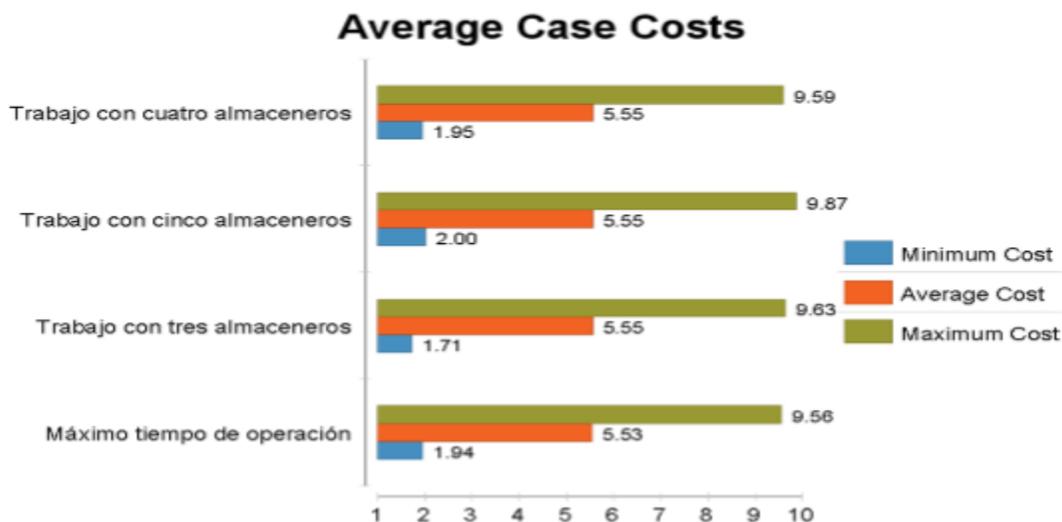


Figura 3.24 Ciclo de tiempo (min) para diferentes cantidades de almaceneros.

Se observa en la gráfica anterior que con un aumento del número de almaceneros el tiempo promedio de operación disminuye considerablemente, lo que significa que el proceso podría ocurrir mucho más rápido con respecto a cómo está desarrollándose.



Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Figura 3.15 Relación de costos mínimos (\$), promedios y máximos para diferentes cantidades de almaceneros.

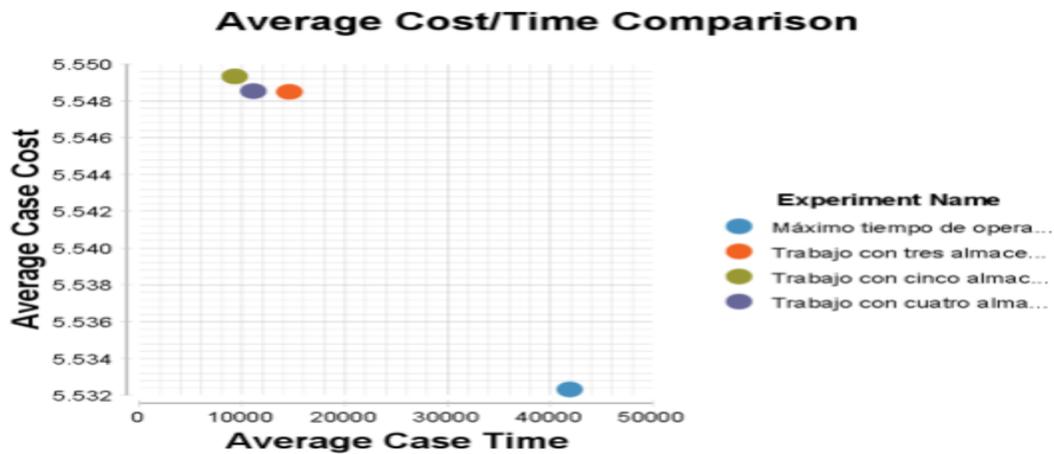


Figura 3.16 Relación de costos promedios vs. tiempos promedios de operación (min) del proceso.

Como resultado de la evaluación de la variante tecnológica operando en su máximo tiempo de operación, obtiene como resultado que los costos promedio de operación del proceso no aumentaban, ni disminuían considerablemente cuando se aumentaba el número de almaceneros, a diferencia del tiempo promedio de operación que si disminuía una vez que eran más los almaceneros, eso significa que es conveniente un aumento del número de almaceneros, teniendo en cuenta los límites de trabajadores a utilizar en cada puesto de trabajo.

A continuación, se muestra la gráfica que compara la variante para máximo tiempo de operación con diferente número de almaceneros en la misma variante.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

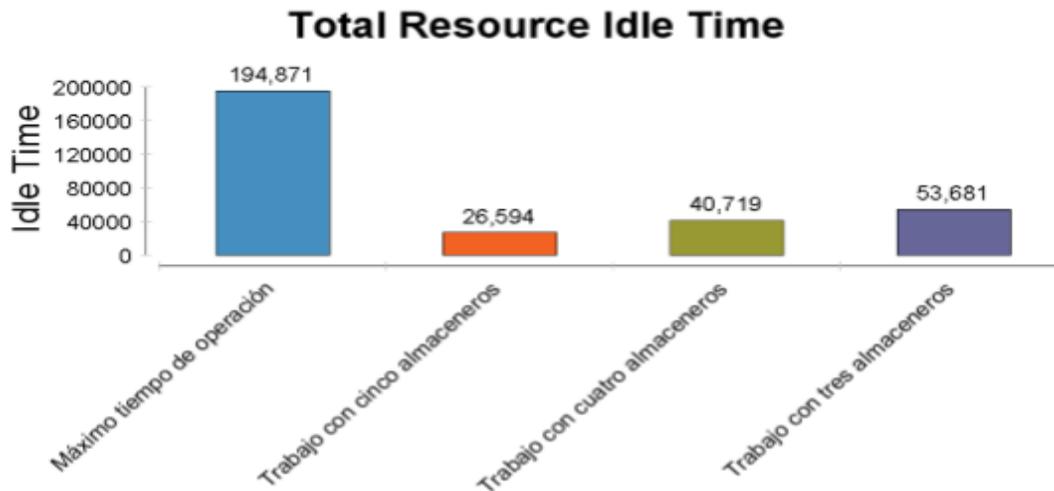


Figura 3.17 Tiempo desocupado (min) con diferentes cantidades de almaceneros.

En la gráfica anterior se observa como disminuye el tiempo total desocupado una vez que aumenta el número de almaceneros del proceso, además se obtiene como resultado una disminución de 141,19 minutos al utilizar tres almaceneros en vez de uno, además se debe tener en cuenta que lo más adecuado es la utilización de solo tres almaceneros, en lugar de cuatro o cinco pues sería un exceso de trabajadores en un mismo puesto que no justificaría un cambio tan elevado en los resultados.

En las tablas 3.16 y 3.17 se observan los tiempos promedios ocupados y desocupados de cada uno de los participantes de la variante en su máximo tiempo de operación trabajando con uno y tres almaceneros respectivamente, así como los porcentos de utilización de cada uno de ellos.

Tabla 3.16 Tiempos ocupados, desocupados y porciento de utilización para la variante que utiliza un solo almacenero.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Name	Instances	Average Idle Time	Average Busy Time	Utilization %
Tuberias	1	17307	1013	5.53
Fiber-Sorter	1	16349	1971	10.76
Tanque de rechazos	1	18252	68	0.37
Transportador-secador	1	17469	851	4.65
Depurador de alta densidad	1	15256	3064	16.72
Hydropulper	1	10938	7382	40.29
Tamiz vibratorio	1	18208	112	0.61
Tanque-almacenamiento	2	16977	1343	7.33
Almacenero	1	157	18163	99.14
Horno	1	16647	1673	9.13
Operador-Monta-Carga	1	12558	5762	31.45
Operario	5	17291	1029	5.62
Maquina-Moldeado	1	17461	859	4.69

Tabla 3.17 Tiempos ocupados, desocupados y porciento de utilización para la variante que utiliza tres almaceneros.

Name	Instances	Average Idle Time	Average Busy Time	Utilization %
Tuberias	1	5220	1036	16.56
Fiber-Sorter	1	4239	2018	32.26
Tanque de rechazos	1	6190	67	1.07
Transportador-secador	1	5405	852	13.61
Depurador de alta densidad	1	3168	3089	49.37
Hydropulper	2	2576	3681	58.83
Tamiz vibratorio	1	6145	111	1.78
Tanque-almacenamiento	1	3572	2685	42.91
Almacenero	3	202	6054	96.77
Horno	1	4575	1682	26.88
Operador-Monta-Carga	2	3373	2884	46.09
Operario	2	3652	2604	41.62
Maquina-Moldeado	1	5364	892	14.26

Al comparar los datos de las tablas anteriores se observa un aumento de los porcentajes de utilización y del tiempo ocupado, además de una disminución del tiempo desocupado de

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

cada uno de los participantes una vez que se aumenta de uno a tres almaceneros lo que significa que es una mejora considerable en el proceso de moldeados de celulosa.

Es válido destacar que los resultados obtenidos hasta el momento pueden no ser lo suficientemente confiables a la hora de tomar decisiones, puesto que parte de los datos empleados en el software son solo estimaciones realizadas por el equipo de trabajo que labora en el proceso de prueba y puesta en marcha de la nueva planta.

Con los resultados obtenidos a partir de la aplicación del software TIBCO se sugiere una mejora en el proceso de moldeados de celulosa, cuando se simula el proceso para un lote de 200 bandejas podemos observar lo siguiente:

Tabla 3.18 Cantidad de almaceneros VS tiempo desocupado total.

Almaceneros	tiempo desocupado total (min)	Diferencia
uno	194,87	
tres	53,68	141,19
cuatro	40,71	154,16
cinco	26,59	168,28

Se toma como mejor propuesta el uso de tres almaceneros debido a que se reduce el tiempo desocupado total de los participantes en 141,19 minutos. Cuando se compara este tiempo con el valor de tiempo desocupado actual, se llega a la conclusión, que el proceso se puede mejorar 2,63 veces con el uso de tres almaceneros, esto significa que, en lugar de producir 200 bandejas, se producirían aproximadamente 526, que multiplicado por el precio de venta de una bandeja (0,083 CUC), se obtiene un valor de 43 CUC, superior a los 16 CUC que se ingresaban con la venta de 200 bandejas.

Resulta importante aclarar que este valor parece pequeño, pero solo se utilizó para correr la simulación, puesto que la máquina de moldeados puede producir 120 bandejas/min de forma continua.

3.2.5 Análisis de los resultados de los métodos de evaluación de las etapas y del proceso

La evaluación de las etapas y del proceso que fueron realizadas arribó que existen deficiencias tecnológicas, asociadas al proceso de transferencia de la tecnología. Las mismas se definen en el epígrafe siguiente.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

3.2.5.1 Definición de las deficiencias tecnológicas asociadas al proceso de transferencia

Como el proyecto se encuentra en la fase de puesta en marcha, de momento no existen deficiencias tecnológicas de origen operacional, sino más bien asociadas al proceso de transferencia de la tecnología, donde se utiliza la información obtenida a partir de la puesta en marcha del proceso y de los datos que aporta el fabricante para realizar la evaluación de la tecnología. A continuación, se relacionan las principales deficiencias que presentan la tecnología seleccionada como caso de estudio.

1. No se cuenta con un sistema previo de tratamiento a las pacas de papel reciclado que llegan al proceso.
2. Ausencia de una etapa de limpieza de la pulpa posterior al desfibrado en el Hydropulper, donde es imprescindible la eliminación de polímeros de diversa índole.
3. En la evaluación del sistema de bombeo de agua y pulpa realizada existe contradicción entre las magnitudes calculadas y las reportadas por el fabricante, en cuanto a: potencia de las bombas y valores de flujo muy inferiores a la capacidad de las bombas; aspecto este que influye en la disminución de las velocidades de los fluidos.

Tomando en consideración las deficiencias identificadas, la revisión de la documentación de proyecto, la información adquirida por estudios de vigilancia tecnológica y la evaluación técnica del sistema adquirido, se proponen varias modificaciones al sistema, las cuales se muestran:

Tabla 3.19 Correcciones para las deficiencias detectadas.

Deficiencias	Correcciones
Ausencia de un sistema previo de tratamiento a las pacas de papel reciclado que llegan al proceso	Confrontar con el fabricante de la tecnología, la posibilidad de suministrar el equipamiento adecuado para realizarle el tratamiento a las pacas de papel reciclado
Ausencia de una etapa de limpieza de la pulpa posterior al desfibrado en el Hydropulper	Confrontar con el fabricante de la tecnología, la posibilidad de suministrar el equipamiento adecuado para la limpieza de

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

	la pulpa después del desfibrado o proponer un proyecto de inversión para la adquisición de un Trommel para la limpieza de la pulpa.
Contradicción entre las magnitudes calculadas y las reportadas por el fabricante, en cuanto a: potencia de las bombas, diámetro nominales de las tuberías y valores de flujo muy inferiores a la capacidad de las bombas	Realizar un estudio previo con mayor profundidad de la oferta tecnológica dada por el fabricante, que incluya la evaluación del sistema de bombeo de agua y pulpa en todo el proceso

3.2.6 Resultados de la evaluación técnico – económica del equipo seleccionado

Como resultado de la evaluación se decide seleccionar un equipo Trommel para la limpieza de la pulpa posterior a la desintegración inicial en el Hydropulper, a continuación, se presentan las características del equipo, el diagrama de flujo modificado de esa sección del proceso y el valor de adquisición de dicho equipo.

Características del equipo

El equipo Trommel es usado para separar fibras y grandes contaminantes gruesos de la pulpa de fibra proveniente del Hydropulper. El tambor perforado resistente especial que permite la recuperación de las fibras y rechaza los contaminantes gruesos, funciona como una pantalla gruesa secundaria y se instala en la línea de rechazo / aceptación del Hydropulper dependiendo del tipo de Hydropulper y contaminantes.

Principios de trabajo:

El Trommel es un tambor rotativo perforado, usado para aumentar la recuperación de fibra, el Trommel se hace girar lentamente para agitar el material, se agrega agua a través de la ducha, proporcionada para ayudar a la separación de fibra / contaminantes, los contaminantes grandes son rechazados del sistema con los tornillos helicoidales soldados dentro del tambor, forzándolos a salir hacia el extremo del mismo. El tamaño de orificio adecuado del tambor perforado se selecciona para optimizar las propiedades de separación y las cualidades de recuperación de la fibra. La aceptación de la Trommel que contiene fibra, agua y pequeños contaminantes son recogidos en la bandeja por gravedad y son alimentados de nuevo al Hydropulper. En el **Anexo 7** se proponen dos posibles variantes de diagramas de flujo para la instalación del equipo en la sección de preparación de la pulpa del proceso.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

Con el objetivo de valorar la factibilidad de la inversión a realizar se determinaron los indicadores dinámicos de rentabilidad como el VAN, TIR y PRD, para ello primeramente fue necesario establecer el costo total de inversión y de producción para el equipo y del proceso, se hizo uso del programa Microsoft Excel para la determinación de estos indicadores. Para la inversión realizada se adopta el mayor precio reportado por Parason Machinery de la India de 50000 USD, se adopta una tasa de interés promedio de un 12%, las demás estimaciones se basan en Cost & Evaluation Workbook del Peter. A continuación, se muestran los resultados.

Valor de la venta de 50 millones de bandejas en un año.

$$V = pv \times P$$

$$V = 0,083 \frac{CUC}{b} \times 50\,000\,000 \frac{b}{año}$$

$$V = 4150000 \frac{CUC}{año}$$

Se supone un cinco porciento de las ventas anuales para recuperar la inversión del equipo adquirido.

$$V = 4150000 \frac{CUC}{año} \times 0.05$$

$$V = 207500 \frac{CUC}{año}$$

Una vez evaluado en Microsoft Excel la inversión para la compra del equipo Trommel que se desea adquirir, los resultados de los indicadores dinámicos obtenidos son los siguientes:

Tabla 3.20 Valor de los indicadores dinámicos.

Indicadores dinámicos de factibilidad		
Valor actual neto (VAN)	799809,20	CUC
Tasa interna de rendimiento (TIR)	79,01	%
Período de recuperación al descontado (PRD)	2,3	años

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

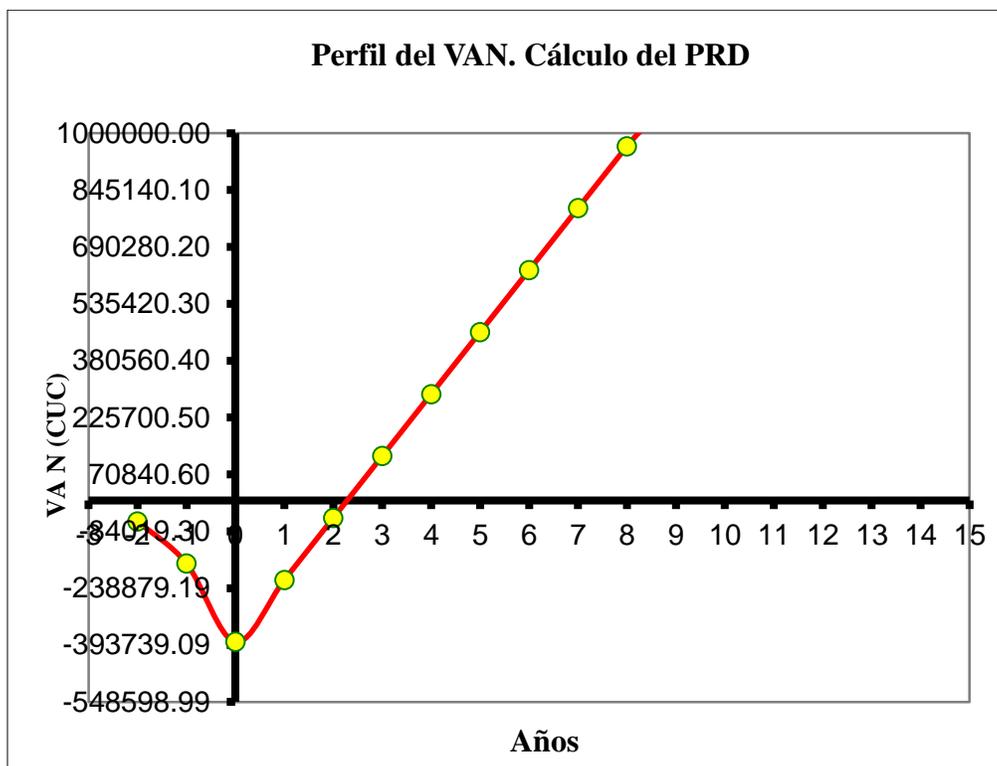


Figura 3.17 Cálculo del PRD

Mediante la evaluación económica para instalar un equipo de depuración (Trommel), se estiman los indicadores dinámicos, cuyos valores de VAN, TIR y PRD son 799809, 79 y 2,3 respectivamente, suponiendo un 5 % de las ventas totales anuales.

Como resultado de la evaluación de la tecnológica se proponen los siguientes proyectos:

1. Instalación de un sistema de depuración de la pulpa posterior al desfibrador (Hydropulper).
2. Evaluación del sistema de tuberías.

Conclusiones parciales

1. Las principales deficiencias tecnológicas asociadas al proyecto radican principalmente en: la ausencia de la etapa de tratamiento a la materia prima, en la ausencia de etapa de eliminación de impurezas, tales como polímeros y en el sobrediseño de las tuberías.
2. Mediante la aplicación de los balances de agua y fibra se determina una pérdida de 420 kg de fibra y agua/día en el proceso de depuración de la pulpa.

Capítulo III. Aplicación del modelo de evaluación tecnológica

3. No existen coincidencias en las magnitudes de los consumos de potencia de las bombas y en las velocidades de los fluidos en las tuberías, en cuanto a la información que ofrece el fabricante de la tecnología.
4. La torre de enfriamiento se encuentra operando correctamente con un valor de N_{tog} de prueba de 0,3705 mayor que N_{tog} de diseño de 0,2335.
5. El sistema de FAD tiene una alta eficiencia en la remoción de sólidos, pero es sensible a variaciones de temperatura, recargas hidráulicas, sólidos en suspensión, variaciones químicas y fisicoquímicas y los costos operacionales son elevados ya que generalmente requiere un control riguroso automático de parámetros.
6. El sistema de secado tiene una alta eficiencia energética y térmica con valores de 98,75 % y 62,86 % respectivamente y se encuentra operando en correctas condiciones pues el túnel de secado tiene una longitud calculada de 19,37 m similar a 21 m por diseño, con una pérdida de calor al ambiente de 443 065 kJ/h
7. La aplicación del software TIBCO Business Studio facilita la obtención de criterios técnico-económicos que contribuyen a la toma de decisiones en el proceso de fabricación de moldeados de celulosa.
8. La instalación de un equipo para la depuración de la pulpa posterior al desfibrador determina una inversión que es factible recuperar en 2,3 años.

Conclusiones generales

1. El modelo de evaluación tecnológica para plantas de moldeados de celulosa, define las deficiencias tecnológicas potenciales y su corrección, la evaluación técnica del equipamiento y la factibilidad de las modificaciones en la etapa de puesta en marcha, lo que reduce los riesgos técnicos, económicos y ambientales.
2. La aplicación del balance de agua, fibra y de energía mecánica verifica la capacidad de almacenamiento, los consumos de agua, la fibra vertida al medio ambiente, la potencia de las bombas y velocidades de los fluidos en las tuberías, y se determina un alto sobrediseño del sistema.
3. La aplicación del software TIBCO Business Studio, facilita la obtención de criterios técnico-económicos que contribuyen a la toma de decisiones en el proceso de fabricación de moldeados de celulosa.
4. La evaluación del diseño y operación del sistema de FAD, la torre de enfriamiento y del túnel de secado, definen una selección de equipos y operación que se encuentra en correspondencia con la información de la documentación de la planta.
5. La instalación de un equipo para la depuración de la pulpa posterior al desfibrador determina una inversión que es factible recuperar en 2,3 años.

Recomendaciones

1. Utilizar la estrategia de evaluación aplicada, así como las experiencias de la presente investigación en los estudios posteriores que se realicen en la planta de moldeados de celulosa de Jatibonico.
2. Efectuar intercambios con el fabricante para verificar las deficiencias tecnológicas identificadas en este trabajo y obtener información de mayor grado de confiabilidad para la realización de la simulación del proceso.
3. Evaluar la propuesta de inversión del equipo Trommel ofrecida en el proyecto, para así definir, en caso de que se considere aceptable por parte de la empresa, un posible montaje del mismo en la planta de moldeados de celulosa.

Bibliografía

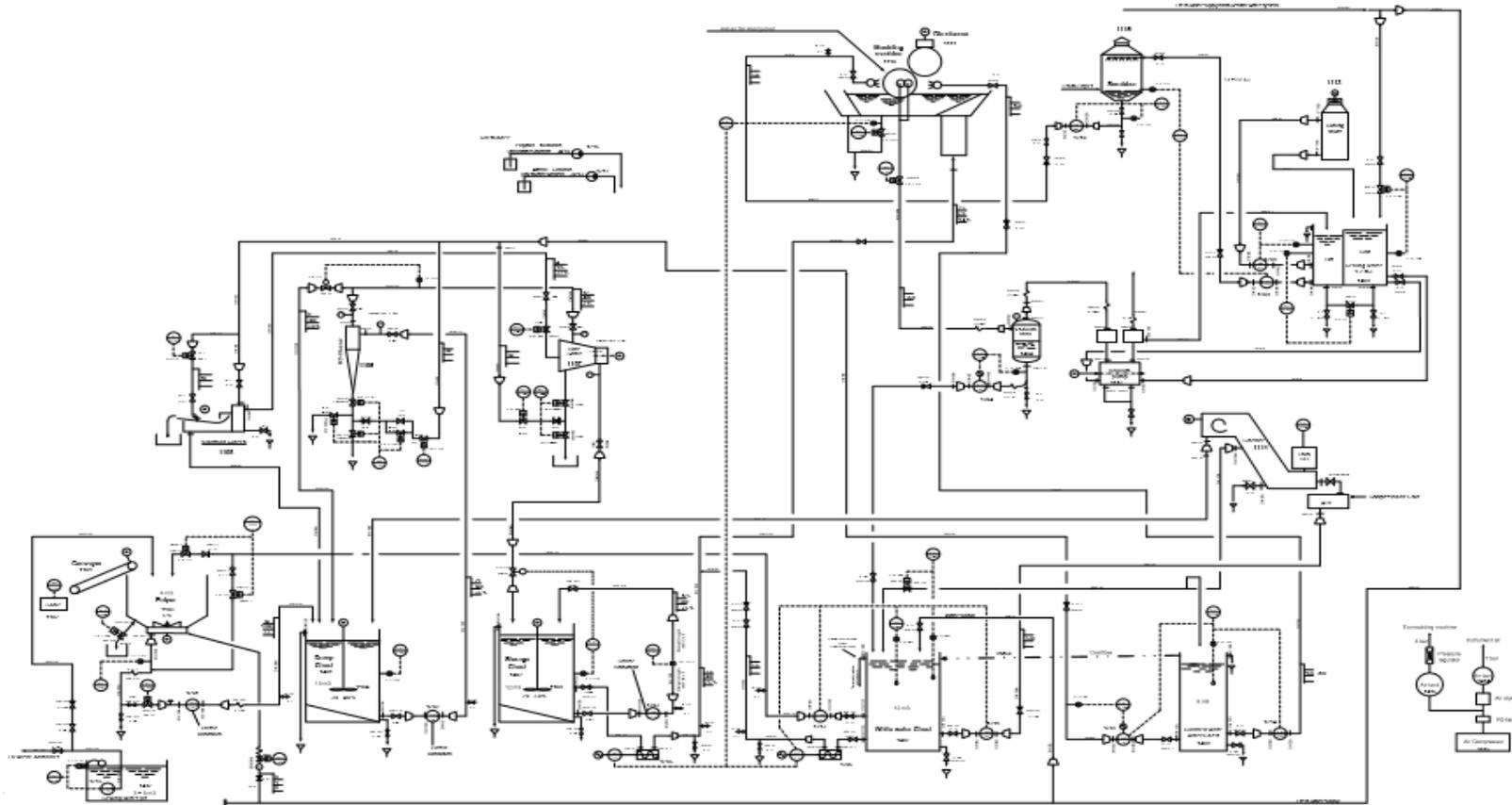
1. Resolución 91.(2006).“Indicaciones para el proceso inversionista”. In: PLANIFICACIÓN, M. D. E. Y.
2. ALCALA-GALIANO, A. P., TUIJA (1998). “Gestión del Agua en la Industria Papelera”.
3. ALEMAYEHU, Z. (2015). Dissolved Air Flotation. Water Treatment. En: <https://aaucivil.files.wordpress.com/2010/10/dissolved-air-flotation.pdf>.
4. ARGONNE-NATIONAL-LABORATORY (2000). “Technology Evaluation”. The University of Chicago, U.S. : Department of Energy.
5. ARMESTO, C. P. (1999). “Technology Transfer: Advice For the Licensee”, Chemical Engineering. V.106, p.90.
6. BOSCH, H. E. & DEBARBIERI, C. A. (2000). Gestión de Tecnología.
7. C. NEGRO, M. A. B., I. GASPAR Y J. TIJERO. (1995). El Agua en la Industria Papelera.
8. CONAMA. (2015). Tecnologías de flotación por aire disuelto. En: http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_03.pdf.
9. CHILTON, C. (1960). Cost engineering in the process industries. New York,.
10. DesDaf. "Desing and analysis at packed saturator in disolved air 1.0".© 1990-2000 Microsoft Corp. En: <http://www.wrc.org.za/Pages/html/resources-freesoftware.htm>
11. DICCIONARIO CONCEPTUAL, T. 2000. “Evaluación tecnológica”.
12. dP. "Pressure Drop Calculator 1.5 - Rev.0" .2010. En: <http://www.downloadplex.com>
13. EVALUTECH. (2000). “Technology Evaluation & Commercialization”. En: <http://www.evalutech.com/intro.html>.
14. FAO (1996). “Technology assessment and transfer for sustainable agriculture and rural development in the Asia-Pacific Region”.
15. GAVAZZO, G. B. & PAVLIK, C. A. (2008). “Influencia de la materia prima en la operación de moldeado de pulpas y en las propiedades del producto final”.V CONGRESO IBEROAMERICANO DE INVESTIGACION EN CELULOSA Y PAPEL. Guadalajara, Jalisco, México.

16. GONZÁLEZ, E. (1991). “Utilización del análisis de procesos en la intensificación de la producción en distintas industrias de Cuba”. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias, UCLV, Cuba.
17. GÖTTSCHING, L. & PAKARINIEN, H. (1999). Recycled Fiber and Deinking. Book 7 in the Papermaking science and technology series
18. Fapet Oy, Helsinki, Finland., Finnish Paper Engineer Association and TAPPI
19. GROSS, F. C., V, RICHTER, C. (2015). Clarificación de agua por flotación con aire disuelto – Aplicaciones desarrolladas en Uruguay y Brasil En: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/caliagua/mexico/02273e20.pdf>.
20. HERNÁNDEZ-TOUSET, J., GONZÁLEZ, E. & GARCÍA, A. (2009). Estrategia para la evaluación tecnológica en la etapa exploratoria del análisis complejo de procesos en plantas de gases industriales. *Revista Tecnología Química*, XXIX.
21. HERNÁNDEZ, J. P. & GONZÁLEZ, V., GARCÍA, A. (2004). “Procedimiento para el mejoramiento de la evaluación tecnológica y de la transferencia tecnológica”. *Memorias del III Congreso Iberoamericano de Investigaciones en Celulosa y Papel*, Córdoba, España.
22. LUJÁN GARCÍA, D. (2007). Procedimiento general para el diseño y/o rediseño basado en la gestión por procesos. Ing. Tesis para optar por el título académico de Máster en Dirección, Universidad Central Marta Abreu de las Villas.
23. MACÍAS, R. (1992). *Economía de empresas, inversiones y financiación*. Edición Revolucionaria.
24. MENDOZA., H. D. (1995). Depurador con doble separación ADS. . In: S.A., C. L. C. M. (ed.). Tolosa, España.
25. MOÑUX C, D. (2000). “Evaluación de Tecnologías”.
26. NASA. (2006). “Technology Assessment” En: <http://users.wpi.edu/~aiaa/esas.report.09.pdf>.
27. ONUDI. 2006. “Evaluating and Selecting Technology”. United Nations Industrial Development Organization En: http://www.1000ventures.com/1000v/tecnology_transfer/techacquisition_main.html.
28. PÁVLOV, K. F. (1981). “Problemas y ejemplos para el curso de operaciones básicas y aspectos en tecnología química”, Editorial Mir, Moscú.

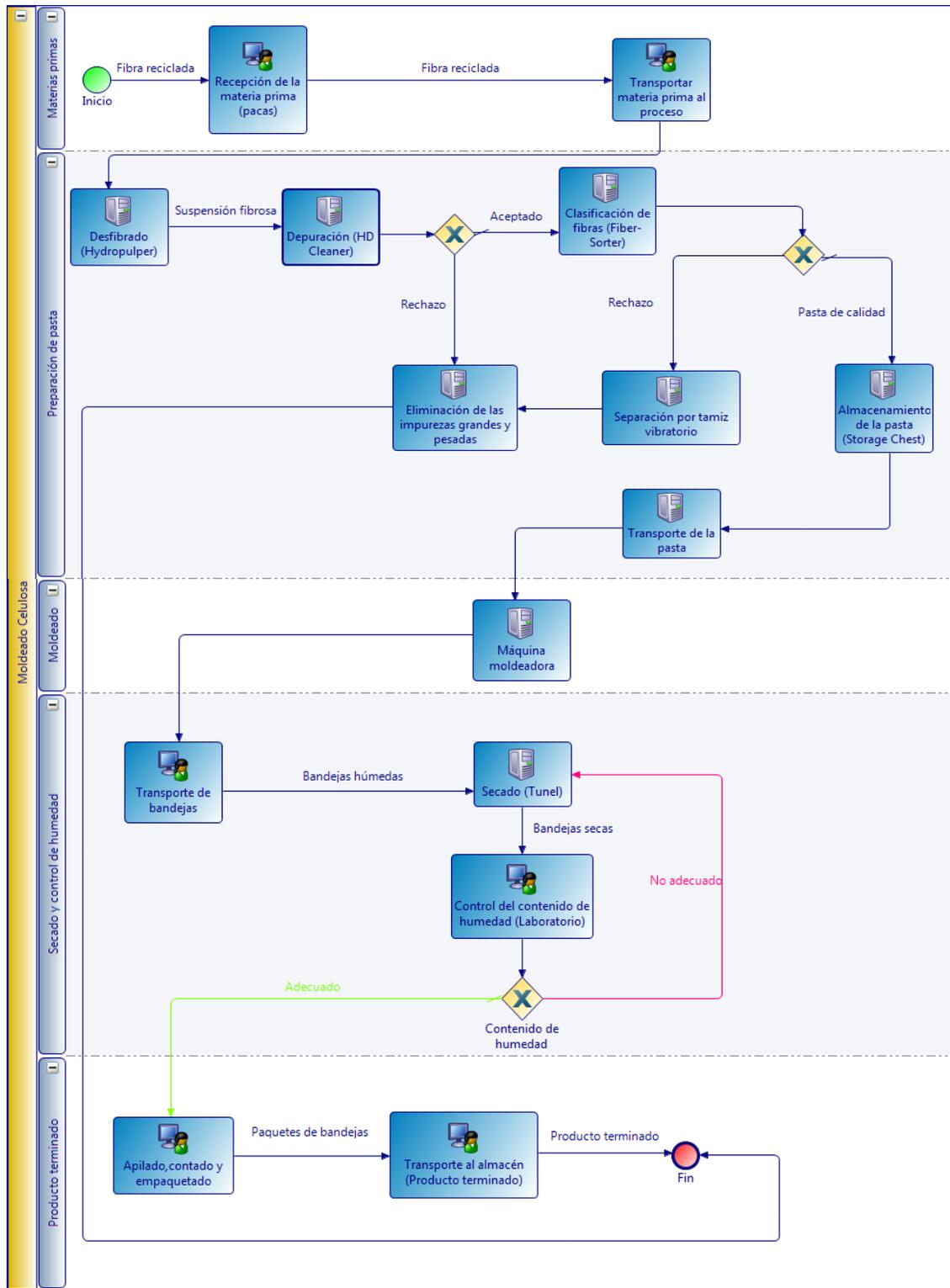
29. PETERS, M. S. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Fourth Edition. McGRAW HILL.
30. S/A (2012). Proyecto de prefactibilidad: Planta Moldeados de celulosa. Jatimold
31. SALAS, G. (2004). Diseño de un Flotador por Aire Disuelto (DAF) en el tratamiento del agua residual de una industria textil.
32. SALAS, M. R. (2007). "Dominion Cove Point LNG, L.P.; Notice of Intent To Prepare an Environmental Assessment for the Proposed Cove Point Air Separation Unit Project and Request for Comments on Environmental Issues".
33. SALOME, J. A. (2004). Goikoetxea. Available: <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro-3.PDF>.
34. SANMARTÍN, J. (1993). "Tecnología y ecología muchos problemas y unas pocas soluciones". Estudio sobre Tecnología, Ecología y Filosofía, [Online]. Available: <http://www.campus-oei.org/cts/tef.pdf>.
35. TULBURE, I. (2002). "Considerations Regarding Evaluation Methods in Technology Assessment". Technische Universität Clausthal, RFA.
36. ULRICH, G. (1985). Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química.
37. VALMET, C. (1996). Equipment for Stock Preparation. Hidrociclón de alta consistencia HC CLEANER. Finland.
38. VALMET., C. (1996). Equipment for Stock Preparation. Depuradores Presurizados (PRESSURE SCREENS). Finland.
39. VENDITTI, R. (2010). Paper Recycling Technology. Dept. of Wood and Paper Science North Carolina State University. Research Projects in Paper Recycling.
40. TIBCO. (2006). "TIBCO Business Studio™". Modeling User's Guide". Software Release 1.1. En: <http://www.tibco.com>
41. TIBCO. (2007). "TIBCO Business Studio™", Simulation User's Guide". Software Release 2.0. En: <http://www.tibco.com>

Anexos

Anexo 1 Diagrama de flujo del proceso de moldeados de celulosa.



Anexo 2 Modelación y simulación en TIBCO Business Studio del proceso de moldeados de celulosa



Anexo 3 Datos para la modelación del proceso en el TIBCO

Tabla 1 Tiempos de operación para diferentes variantes del proceso

Actividad	Unidad de tiempo	Mínimo tiempo de operación		Operación por manuales		Máximo tiempo de operación		Planta en operación	
		Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica	Media	Desviación típica
Recepción de la materia prima	hora	1	0.5	1.3	0.5	1.5	0.5	1.1	0.5
Transportar materia prima al proceso	min	10	3	12	3	15	3	15	3
Desfibrado (Hydropulper)	min	25	3	30	3	37	3	35	5
Depuración (HD Cleaner)	min	10	2	12	2	15	2	13	1
Clasificación de fibras (Fiber-Sorter)	min	9	3	10	3	11	3	12	2
Separación por tamiz vibratorio	min	7	2	7	2	7	2	9	1
Eliminación de las impurezas grandes y pesadas	min	2	0.5	2	0.5	2	0.5	4	0.5
Almacenamiento de la pasta (Storage Chest)	min	12	2	15	2	16	2	18	2
Transporte de la pasta	seg	330	120	360	120	370	120	390	150
Máquina moldeadora	min	5	3	5	3	5	3	5	3
Transporte de bandejas	min	3	2	4	2	5	2	3	2
Secado (Túnel)	min	7	2	8	2	10	2	10	3
Control del contenido de humedad (Laboratorio)	seg	45	5	50	5	65	5	45	5
Apilado, contado y empaquetado	min	18	3	25	3	30	3	15	5
Transporte al almacén (producto terminado)	min	10	2	15	2	17	2	15	5

Tabla 2 Costo de cada trabajador en cada área de trabajo

Participantes	Número de personas/ máquinas	Costo por unidad de tiempo	Unidad de tiempo
Almacenero	1	2.6	Hora
Tanque pulpa lista	2	0.22	Hora
HD Cleaner	1	0.11	Hora
Estera conductora	1	0.09	Hora
Horno	1	0.65	Hora
Hydropulper	1	0.43	Hora
Máquina de moldeado	1	0.87	Hora
Operador montacarga	1	0.035	Hora
Operario	5	2.6	Hora
Pantalla vibratoria	1	0.043	Hora
Fiber-Sorter	1	0.043	Hora
Tanque de rechazos	1	0.039	Hora
Transportador de secador	1	0.039	Hora
Tuberías	1	0.03	Hora

Anexo 4 Evaluación de los sistemas de bombeo en diferentes secciones

Tabla 1 Sistema de bombeo (Tanque de pulpa cruda-HD Cleaner)

Fluid data	
flow rate	42000 [liter/hr]
density	1000 [kg/m ³]
dynamic viscosity	4.8 [cP]

Pipe data	
inner diameter	119 [mm]
surface roughness	0.04 [mm]
total pipe length	7 [m]
elevation	2.5 [m]
pressure loss extra equipment	0 [bar]

Equivalent length	
bends and elbows	32 [l/d]
valves	78 [l/d]
	110 [l/d]
fittings and appendages	13.09 [m]

Results	
Reynolds number	26005.7 [-]
average velocity of liquid	1.05 [m/s]
friction factor	0.0251 [-]
relative roughness surface	0.0003 [-]
friction of pipe	1.4765 [-]
pipe area	11122.0234 [mm ²]
pipe volume	77.85 [liter]
friction of appendages	2.7610 [-]
average residence time	6.67 [sec]
power loss	313.3 [Watt]
pressure drop pipe	0.2686 [bar]
estimated shear	35.26

Total pressure drop	
pipe+equipment+appendages	0.2686 [bar]
	26856 [Pa]

Flow is Turbulent Clear Exit

Tabla 2 Sistema de bombeo (Hydropulper-Tanque de pulpa cruda)

Fluid data	
flow rate	108000 [liter/hr]
density	1000 [kg/m ³]
dynamic viscosity	4.8 [cP]

Pipe data	
inner diameter	194 [mm]
surface roughness	0.04 [mm]
total pipe length	9 [m]
elevation	2.6 [m]
pressure loss extra equipment	0 [bar]

Equivalent length	
bends and elbows	64 [l/d]
valves	78 [l/d]
	142 [l/d]
fittings and appendages	27.548 [m]

Results	
Reynolds number	41019.3 [-]
average velocity of liquid	1.01 [m/s]
friction factor	0.0224 [-]
relative roughness surface	0.0002 [-]
friction of pipe	1.0392 [-]
pipe area	29559.2453 [mm ²]
pipe volume	266.03 [liter]
friction of appendages	3.1808 [-]
average residence time	8.87 [sec]
power loss	830.4 [Watt]
pressure drop pipe	0.2768 [bar]
estimated shear	20.93

Total pressure drop	
pipe+equipment+appendages	0.2768 [bar]
	27679 [Pa]

Flow is Turbulent Clear Exit

Tabla 3 Sistema de bombeo (Tanque de pulpa lista-Máquina de moldeados)

Fluid data	
flow rate	18000 [liter/hr]
density	1000 [kg/m ³]
dynamic viscosity	4.8 [cP]

Pipe data	
inner diameter	94 [mm]
surface roughness	0.04 [mm]
total pipe length	15 [m]
elevation	3.5 [m]
pressure loss extra equipment	0 [bar]

Equivalent length	
bends and elbows	112 [l/d]
valves	78 [l/d]
	190 [l/d]
fittings and appendages	17.86 [m]

Results	
Reynolds number	14109.5 [-]
average velocity of liquid	0.7205 [m/s]
friction factor	0.0289 [-]
relative roughness surface	0.0004 [-]
friction of pipe	4.6117 [-]
pipe area	6939.7782 [mm ²]
pipe volume	104.10 [liter]
friction of appendages	5.4910 [-]
average residence time	20.82 [sec]
power loss	184.8 [Watt]
pressure drop pipe	0.3696 [bar]
estimated shear	30.66

Total pressure drop	
pipe+equipment+appendages	0.3696 [bar]
	36957 [Pa]

Flow is Turbulent

Tabla 4 Sistema de bombeo (recirculación en tanque de pulpa lista)

Fluid data	
flow rate	36000 [liter/hr]
density	1000 [kg/m ³]
dynamic viscosity	4.8 [cP]

Pipe data	
inner diameter	119 [mm]
surface roughness	0.04 [mm]
total pipe length	5 [m]
elevation	2.5 [m]
pressure loss extra equipment	0 [bar]

Equivalent length	
bends and elbows	32 [l/d]
valves	78 [l/d]
	110 [l/d]
fittings and appendages	13.09 [m]

Results	
Reynolds number	22290.6 [-]
average velocity of liquid	0.8991 [m/s]
friction factor	0.0259 [-]
relative roughness surface	0.0003 [-]
friction of pipe	1.0882 [-]
pipe area	11122.0234 [mm ²]
pipe volume	55.61 [liter]
friction of appendages	2.8490 [-]
average residence time	5.56 [sec]
power loss	261.2 [Watt]
pressure drop pipe	0.2612 [bar]
estimated shear	30.22

Total pressure drop	
pipe+equipment+appendages	0.2612 [bar]
	26116 [Pa]

Flow is Turbulent

Tabla 5 Sistema de bombeo (Tanque de agua clarificada-HD Cleaner)

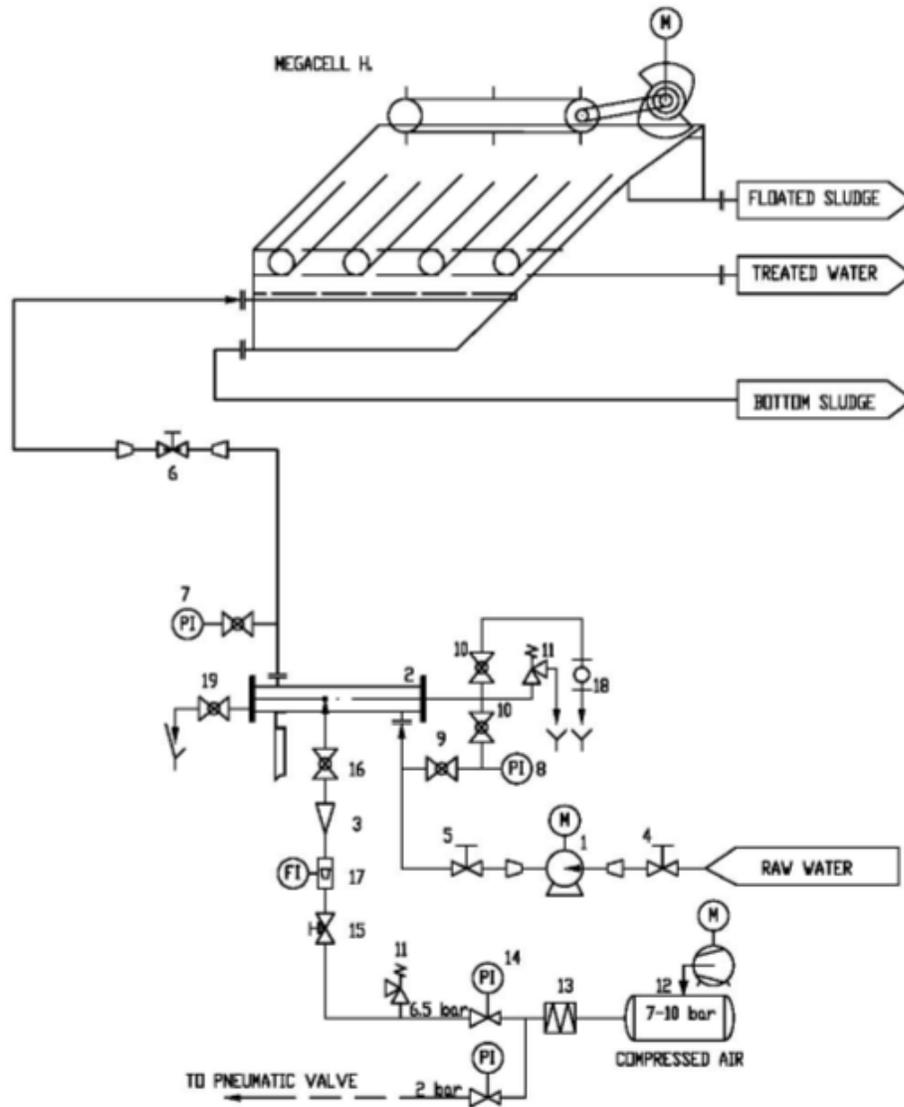
dP - C:\Users\Julio\Desktop\Cosas en proceso\Simulacion en dp\Clarified w... - □ ×

File Data Help

Fluid data		Results	
flow rate	15000 [liter/hr]	Reynolds number	20467.5 [-]
density	1000 [kg/m3]	average velocity of liquid	1.82 [m/s]
dynamic viscosity	4.8 [cP]	friction factor	0.0272 [-]
Pipe data		relative roughness surface	0.0007 [-]
inner diameter	54 [mm]	friction of pipe	9.0667 [-]
surface roughness	0.04 [mm]	pipe area	2290.2210 [mm ²]
total pipe length	18 [m]	pipe volume	41.22 [liter]
elevation	4.5 [m]	friction of appendages	6.6640 [-]
pressure loss extra equipment	0 [bar]	average residence time	9.89 [sec]
Equivalent length		power loss	292.4 [Watt]
bends and elbows	128 [l/d]	pressure drop pipe	0.7018 [bar]
valves	117 [l/d]	estimated shear	134.77
	245 [l/d]	Total pressure drop	
fittings and appendages	13.23 [m]	pipe+equipment+appendages	0.7018 [bar]
			70179 [Pa]

Flow is Turbulent Clear Exit

Anexo 5 Funcionamiento del sistema FAD



Anexo 6 Aplicación del programa DesDaf

Tabla 1 Datos que se le introducen al programa para iniciar la simulación

Analyse an existing system ×

Enter the following parameter:

Temperature of the recycle stream [in °C]:

Atmospheric pressure [in kPa]:

Operating (gauge) pressure of the saturator [in kPa]:

Oxygen saturation level of the recycle water (i.e. the water entering the saturator) [in %]:

Tabla 2 Resultados obtenidos para una corrida del programa

Maximum Air Solubility ×

From the input data the following parameters are calculated:

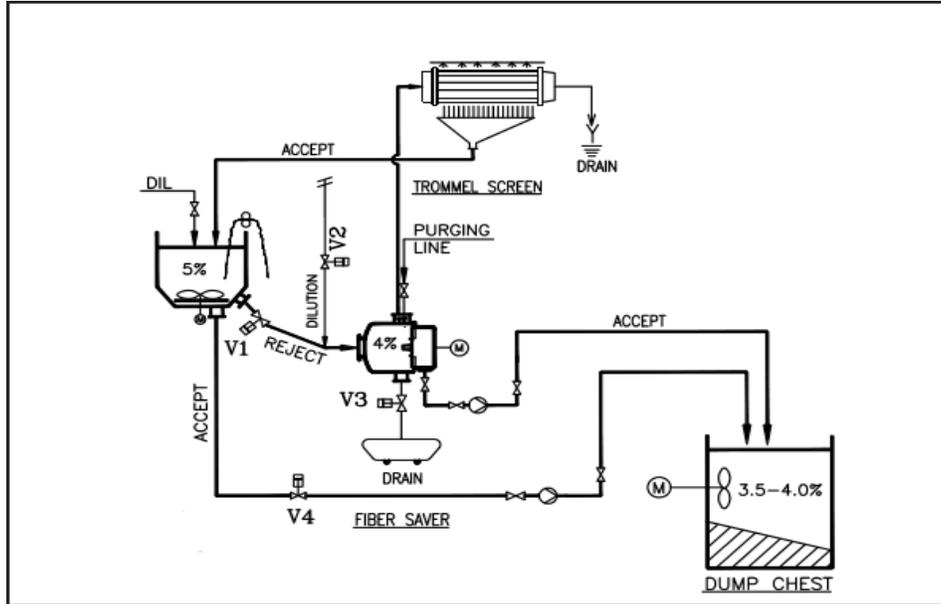
Water temperature [in K]:

Absolute saturator pressure [in kPa]:

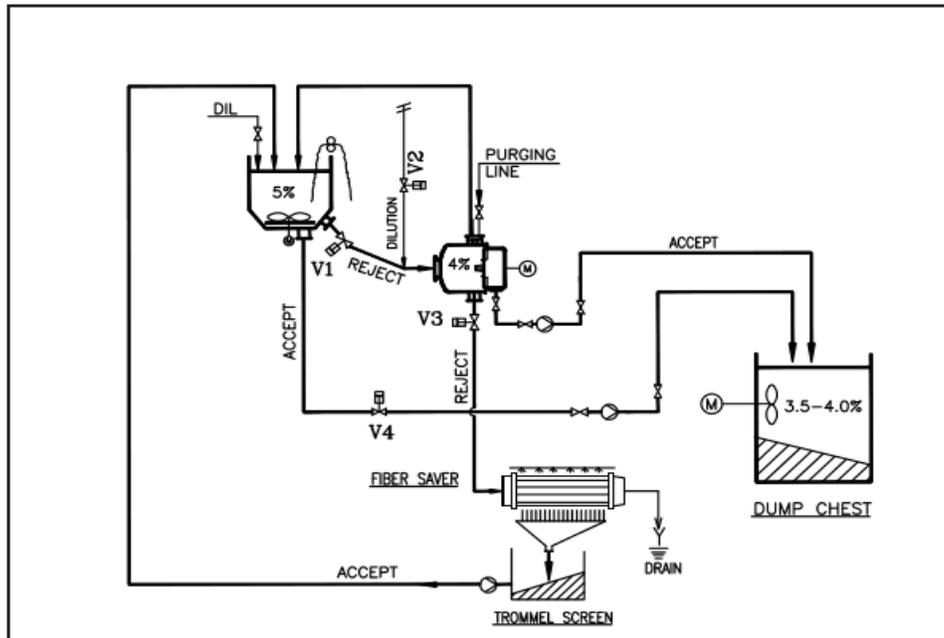
	Oxygen	Nitrogen	Air
Henry's constants [dimensionless]:	<input type="text" value="36.3"/>	<input type="text" value="70.7"/>	
Maximum solubility at atmospheric conditions [mg/L]:	<input type="text" value="7.4"/>	<input type="text" value="12.6"/>	<input type="text" value="20.0"/>
Actual solubility at atmospheric conditions [mg/L]:	<input type="text" value="4.4"/>	<input type="text" value="12.6"/>	<input type="text" value="17.0"/>
Saturator air composition [% Volume]:	<input type="text" value="12.2"/>	<input type="text" value="87.8"/>	
Maximum solubility at saturator conditions [mg/L]:	<input type="text" value="26.0"/>	<input type="text" value="83.9"/>	<input type="text" value="109.8"/>

Anexo 7 Variantes para la colocación del equipo Trommel en la sección de preparación de pasta.

Variante 1



Variante 2



Anexo 8 Diagrama de bloques del proceso de moldeados de celulosa.

