

EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DEL PROYECTO DEL SISTEMA DE PREPARACION DE PASTAS EN LA FÁBRICA DE PAPEL “PULPA CUBA”

Dr. C. Juan Pedro Hernández-Touset¹, juanpedro@uclv.edu.cu, Dr. C. Agustín García-Rodríguez¹, M. Sc. Osvel Expósito-Hernández^{II}, M. Sc. Fidel Alain Rodríguez-Romano^{III}, Ing. Trhudys Ruiz-Correa^I

¹Cuba, Departamento de Ingeniería Química, Universidad Central de Las Villas, Cuba, ^IDepartamento de Ingeniería Química, Universidad Central de Las Villas, Cuba, ^{MINBAS}, Grupo Empresarial de la Industria Química, Empresa del Papel, Cuba, ^{III}UEB Pulpa Cuba, ^IDepartamento de Ingeniería Química, Universidad Central de Las Villas

El objetivo del trabajo ha sido evaluar técnica, económica y ambientalmente, el proyecto de inversión del sistema de preparación de pastas de la fábrica de papel Pulpa Cuba, Trinidad, S.S. Para alcanzar este objetivo se aplica una metodología comprensiva de evaluación tecnológica, en la cual se utilizan métodos para el control del diseño de los equipos y sistemas auxiliares. Mediante la evaluación económica se estiman los beneficios por concepto de la reducción de los consumos de energía, agua; requerimientos de mantenimiento y de operadores. Un estudio del proceso actual de preparación de pastas de papel reciclado y la evaluación tecnológica de un nuevo sistema, adquirido a la firma Shandong Huachen International Group Co, Ltd. consideró mejoras en la energía, el agua, los vertimientos y en el proceso. Se determinan los consumos de agua y de energía de ambas tecnologías. Se realiza la verificación de las capacidades de almacenamiento de pulpa, las velocidades de los fluidos y las caídas de presión en el sistema de tuberías. Se identifican las deficiencias de la tecnología en operación y en el proyecto en ejecución. Los estimados iniciales indican que la implementación de las recomendaciones ahorrará 206 605,00 CUC/año con un costo del proyecto de 634 030,00 CUC. Se espera un periodo de recuperación de la inversión de 4,1 años.

Palabras clave: evaluación tecnológica, preparación de pastas, papel reciclado.

The objective of the work has been to evaluate technical, economical and environmentally, the stock preparation investment project at the Pulpa Cuba Paper Mill. To reach this objective a comprehensive methodology of technology assessment is applied, in which, methods are used for equipment and ancillary systems design control. By economic evaluation, benefits in energy and water consumptions; maintenance and operating labor are estimated. A study of the current stock preparation process of recycled paper and the technology assessment of a new system, acquired to Shandong Huachen International Group Co, Ltd., considered energy, water, waste and process-related improvements. The consumptions of water and energy of both technologies are examined. A verification of pulp storage capacities, fluids speeds and pressure drops in the piping system are also examined. The deficiencies in the current technology and in the new project are identified. Initial estimates indicate that the implementation of the recommendations will save nearly 206 605, 00 CUC/ annually with a project cost of 634 030, 00 CUC. An average payback period of about 3 year is expected.

Key words: technology assessment, stock preparation, recycled paper.

Introducción

El interés de la industria papelera mundial, hacia la recuperación, viene impulsado por dos condiciones sociales: la necesidad de la conversión de las fuentes de materias primas compatibles con un aumento de productos manufacturados; y la necesidad de conservación del medio ambiente, dado que se eliminan residuales de la sociedad industrial. Sin embargo, esta presión so-

cial no podría haber sido encausada hacia la recuperación y la utilización del papel viejo como materia prima para la fabricación de papel si no hubiera existido, por una parte, presiones económicas sobre las empresas y por otra, las investigaciones y desarrollos tecnológicos que han hecho posible esta recuperación.

Mediante la evaluación tecnológica de la etapa de preparación de pastas de papel reciclado, se han identificado las deficiencias tecnológicas aso-

ciadas al proyecto; se definieron las modificaciones al sistema actual que implican mejoras técnicas y reducción de los vertimientos de agua y fibra y se estiman los beneficios económicos asociados a estas; con ello se da solución al problema de la ausencia de información sobre estudios inversionistas previos del proyecto en ejecución y a la insuficiente información tecnológica y de operación sobre el sistema de preparación de pastas, de reciente adquisición por la UEB Pulpa Cuba, para sustituir parcialmente el sistema actual.

Fundamentación teórica

La FAO /1/ define la Evaluación Tecnológica (ET) como un método comprensivo 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; Argonne /2/ la concibe como un proceso para analizar las varias opciones de tecnologías existentes y nuevas y determinar la mejor aplicación de estas tecnologías a una situación particular.

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 Resolución 91 /3/ y en etapas tempranas de asimilación o apropiación de la tecnología.

Con la incorporación de procedimientos de evaluación de la tecnología como una herramienta más en la etapa del proceso de dirección estratégica de la tecnología se consolida el conocimiento acerca del estado de la tecnología y se definen los objetivos de intensificación del proceso contribuyendo con ello al análisis de la competitividad y el potencial de la tecnología. /4/

El proceso de preparación de pastas para la producción de papel recuperado consta de tres procesos principales: repulpeo (desfibrado) del papel, eliminación de los contaminantes y blan-

queo de las fibras. El papel reciclado de cierto grado (empaque, impresión, papeles de oficina) se desintegra en un pulpeador. Después del pulpeo, los contaminantes (metales, pegamentos y adhesivos, polímeros) se eliminan por varios pasos de separación. Las técnicas de separación son el tamizado, limpieza y flotación /5/.

Métodos utilizados y condiciones experimentales

Se aplica una metodología comprensiva de evaluación tecnológica /6,7/, en la cual se utilizan métodos para el control de la operación y el diseño de los equipos. En la figura 1 se muestra el diagrama heurístico que corresponde a la estrategia de evaluación tecnológica.

La caracterización de la instalación y de la tecnología y la identificación de las deficiencias tecnológicas es un paso que incluye varias tareas. La confrontación de los parámetros de operación definidos por la documentación de diseño con los reportes de operación, la localización de modificaciones realizadas desde la puesta en marcha, el análisis de las particularidades del mecanismo de transferencia de la tecnología, son los elementos que más contribuyen a la identificación de las deficiencias. 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 la aplicación de métodos (modelación, simulación, etcétera) para la intensificación del proceso, mediante la aplicación del Análisis Complejo de Procesos (ACP) /4/. En la etapa de definición de las deficiencias de la tecnología y del equipamiento se confirman los resultados de la caracterización de la instalación y la tecnología. Se realiza además la evaluación tecnológica ambiental (ETA) en la cual se consideran los impactos que se pudieran presentar como resultado de la construcción y operación de la instalación.

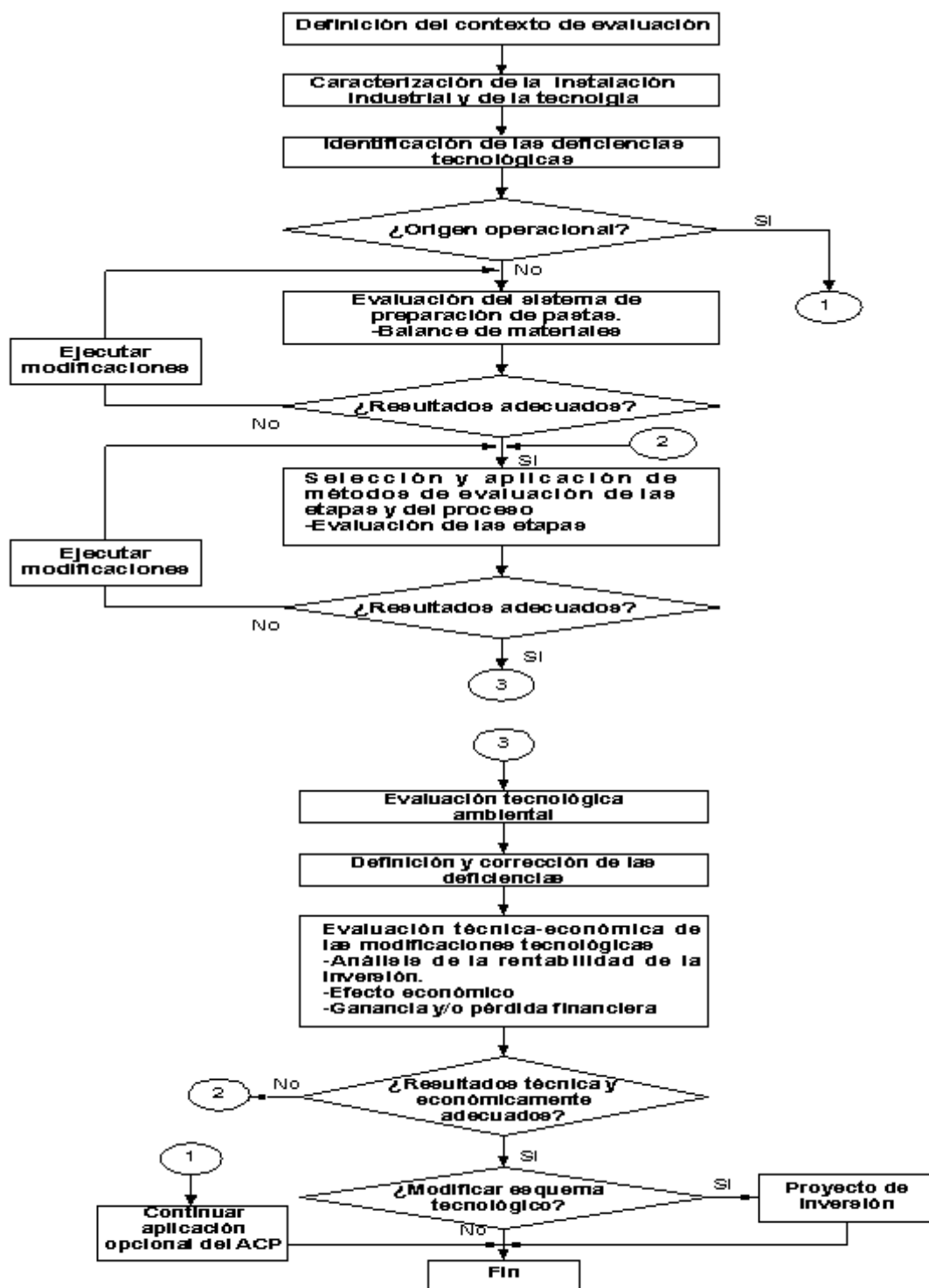


Fig. 1 Estrategia para la evaluación tecnológica del sistema de preparación de pastas.

Resultados y discusión

El sistema actual de preparación de pastas, está constituido por los siguientes equipos principales: pulpeador (hydrapulper), depurador ciclónico y colador rotatorio, los cuales se sustituyen por equipos adquiridos a Shandong Huachen International Group Co., Ltd./8/. El proyecto está basado en una tecnología diferente a la que se aplicaba hasta el momento de la ejecución y puesta en marcha de la nueva instalación; cuyos equipos son: un pulpeador continuo vertical de pasta de baja densidad (hydrapulper), que incluye transportador de estera, pozo de sedimentación, máquina de cordón trenzado, extractor de chatarra y un tamiz cilíndrico rotatorio; separador de impurezas, separador de simple acción y equipo alta eficiencia para eliminar el residuo de alta densidad con doble cono. En la figura 2 se muestra el diagrama de flujo del sistema de preparación de pasta adquirido.

La tecnología actual la etapa de preparación de pastas no es adecuada para procesar papel de desecho (OCC); donde no existe un tratamiento para recuperar el agua final del proceso y separar de estas las impurezas que se arrastran en el flujo (nylon, presillas, arena, piedras). Existe un alto consumo de agua fresca y se genera un gran volumen de residuales acuosos y de fibra.

El mecanismo de transferencia tecnológica ha sido por adquisición de equipos y documentación técnica, aunque esta última no satisface los todos los requerimientos de información para el montaje y la operación.

Deficiencias tecnológicas identificadas en el proyecto:

1. Falta de correspondencia entre los datos de los manuales o medidos y los de chapa, por ejemplo: en el separador de impurezas, la consistencia según el manual es de 2-5 %, mientras que en la chapa es de 4-5 %; el diámetro de los orificios de la malla, según chapa es de 8 mm y medido es de 10 mm.
2. Los rechazos de todos los equipos se extraen manualmente.
3. El desfibrador es un “cuello de botella” para el resto proceso, ya que por los datos del fabricante la capacidad máxima es de 120 t/d siendo menor que la capacidad de diseño de la sección de secado que es de 126 t/d.

Se identifican deficiencias en la disposición del equipamiento, acoplamiento de tuberías entre equipos y ubicación de válvulas, por ejemplo en el sistema desfibrador – pozo de sedimentación – tamiz rotatorio horizontal.

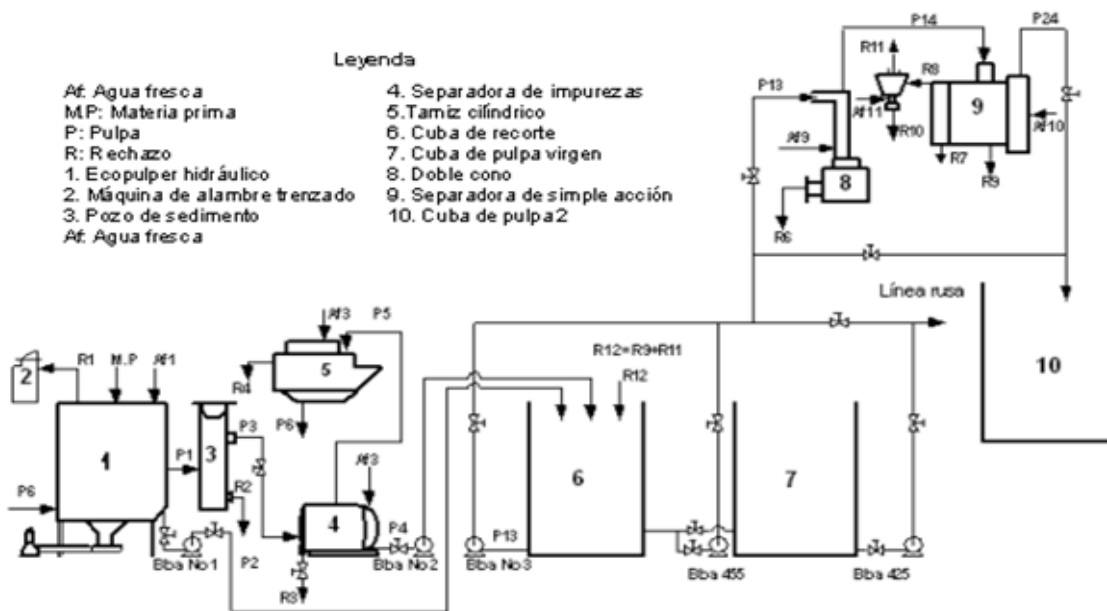


Fig. 2 Diagrama de flujo de la línea de preparación de pasta adquirida.

Aquí, la corriente de pulpa P6, que vierte en el desfibrador se dispuso por su parte inferior y debe ser por la parte superior. Otra deficiencia asociada a la interpretación de la documentación y al montaje se identifica en la conexión de la tubería de pulpa entre el pulpeador y el pozo de sedimento (P1), donde se dispone una sola tubería, debiendo ser dos en forma de V/9/.

Para la evaluación de la línea de preparación de pasta se adoptan cuatro variantes de esquemas tecnológicos y se realiza mediante la aplicación de los balances de agua y fibra, que incluye la verificación de los flujos y consistencias de las corrientes y la determinación de la capacidad de almacenamiento; los balances de energía mecánica, que incluye la verificación de la potencia de las bombas, los diámetros de tuberías, velocidades y caídas de presión. Las variantes son:

1. Combinación de equipos, es decir, algunos del proyecto en ejecución (pulpeador, separadora de impurezas, tamiz cilíndrico) y otros del sistema actual en operación (colador y lavadoras).
2. Línea de preparación de pasta en operación.
3. Línea de preparación de pasta adquirida.
4. Línea de preparación de pasta adquirida con los coladores de la línea en operación.

La consistencia media en el pulpeador es de 1,96, siendo el rango de trabajo de este equipo de 4,0 a 6,0 %. Está fue una de las causas por la cual los restantes equipos de la nueva línea no se pusieron en explotación.

Los balances de materiales de las variantes 3 y 4 se realizan para el Linner 175 g/m². Teniendo en cuenta que el pulpeador hidráulico procesa como máximo 120 tf/d de materia prima y que según análisis de laboratorio y de pesaje que se realizan en los bloques productivos se determinó que la misma está compuesta por un 89,875 % de fibra, un 8,0 % de humedad, un 2,125 % de impurezas (2,0 % de nylon y un 0,125 % de arena y presillas, teniendo en cuenta el por ciento de fibra el pulpeador procesa 134 t/d de suspensión. Los nylon se eliminan mediante el cordón trenzado y el rechazo del tamiz cilíndrico, siendo cada uno de 1,61 t/d, las impurezas pequeñas (arena y presillas) son eliminadas en los rechazos del pozo de sedimento, la separadora de impurezas, el doble cono, la separadora de simple acción y el depurador de esta última siendo cada una de ellos de 0,041 t/d. En la tabla 1 se muestra parte de las ecuaciones, los datos de las corrientes y los resultados obtenidos mediante los balances de agua y fibra.

Tabla 1
Ecuaciones, datos de las corrientes y resultados de los balances de materiales

Ecuaciones básicas	Datos de las corrientes	Resultados
B.T: $Af_3 + P_3 = P_4 + R_3 + P_5$	P3 = 37,5 % de la suspensión que procesa el pulpeador (dato de chapa) Rango de consistencia 5,0-4,0 % R3 = 0,041 t/d P4 = 691,2 t/d (diámetro de tubería de 4plg. y velocidad de 1 m/s).	Af3 = 225 t/d TP5 = 433,7 t/d FP5 = 17,4 t/d AP5 = 416,3 t/d
B.T: $P_1 = P_3 + R_2$	R2 = 0,041 t/d	TP1 = 900,041 t/d FP1 = 45 t/d AP1 = 855,041 t/d
B.P: $FM.P = FP_2 + FP_1$	FM.P = 120 t/d	FP2 = 75 t/d TP2 = 1500 t/d AP2 = 1425 t/d

Las velocidades calculadas para los diferentes diámetros se encuentran dentro del rango permisible de velocidades de líquidos en tuberías tanto

para los flujos mínimos como máximos, lo cual se corresponde con la oferta del fabricante, según se observa en la tabla 2 para la bomba 1.

Tabla 2
Velocidades de los fluidos a través de las tuberías

Bomba	Diámetro (pulg)	Velocidad (m/s)	
		Flujo mínimo (m ³ /h)	Flujo máximo (m ³ /h)
Bomba 1	8	1,2	2,4
	6	2,1	4,2

La tabla 3 muestra los resultados de la comparación de la potencia de la bomba 1 según datos del proyecto y determinadas por el programa dP1.

Los valores de las potencias calculadas son similares a los valores ofrecidos por el suministrador de la tecnología.

Tabla 3
Comparación de la potencias de las bombas

Datos de la bombas		Resultados del programa dP		
Flujos (m ³ /h)		Potencia (kW)	Caída presión (bar)	Reynolds
Bomba 1	140	15	11,7	113 262,1
	280		14,0	226 528,1

Como parte de la evaluación de las etapas se realiza la determinación del consumo de electricidad para cada una de las variantes, para conocer el consumo energético del equipamiento

instalado y poder medir técnica, económica y ambientalmente cada una de ellas.

En la tabla 4 se muestra el resumen de la evaluación técnica de cada variante.

Tabla 4
Principales resultados de la evaluación de cada una de las variantes

Aspectos	Variantes			
	1	2	3	4
Consistencia de trabajo inicial (%).	1,85	2,00	5,00	5,00
Capacidad de almacenamiento (tfa.s).	36,27	40,57	15,10	17,57
Consumo de agua blanca (t/d).	6 374,4	6 563,60	-	2 266,00
Consumo de agua fresca (t/d).	6 451,62	4 860,52	3842,1	1 616,02
Consumo de electricidad (kWh/h).	654,00	577,11	487,00	632,85
Fibra expulsada al medio ambiente (t/d).	2,32	0,463	-	-

Como resultado de la evaluación se proponen siete proyectos que modifican el sistema de preparación de pastas adquirido.

1. Elevación del tamiz cilíndrico y disposición de la tubería de descarga del tamiz, desde la parte inferior del ecopulper 1,4 m hasta la parte superior del equipo, con descarga libre al mismo.
2. Ubicación de las válvulas en los tramos de tuberías, que actualmente no son adecuadas, basado en criterios de operación, seguridad y mantenimiento.
- 1 Pressure Drop, Martin Koster, 2000, dPhome.tsx.org.
3. Incorporación de la torre de alta densidad, llegando a almacenar 22,51 t de fibra seca, incrementando la capacidad en 7,41 t a una consistencia de 3,0 %.
4. Ubicación de las tuberías de entrada del desfibrador al pozo de sedimento según el esquema de disposición en planta del proyecto de inversión.
5. Instalación de una caja de nivel en el desfibrador para la succión de la bomba y disminuir la separación entre el rotor y la placa perforada a 1 y 1,5 mm para garantizar el no atascamiento entre estos elementos.
6. Construcción de una nave en el área del transportador de banda para evitar la acumulación de agua en el pozo de la banda y la consecuente proliferación de mosquitos.
7. Diseño e instalación de sistemas para la extracción de los rechazos de agua, fibra e impurezas de todos los equipos adquiridos.

Estimación de la rentabilidad de la inversión

Los cálculos de los beneficios cuantitativos se realizaron teniendo en cuenta seis meses de producción, atendiendo a insuficiente suministro de materias prima. Se determinan los ahorros por concepto de salario, energía, agua, pérdida de fibra, reparación de motor de lubricación; siendo el beneficio cuantitativo total de 206 605,02 \$/año y una ganancia de 153 769,2 \$/año, descontando

la depreciación, esto determina un tiempo de recuperación de la inversión de 4,1 años.

Para lograr la rentabilidad con un período de recuperación de 4 años es necesario aumentar los ingresos en 621 826,71 \$/año, alcanzando un total de ingresos de 6 900 000,00 \$/año, esto representa un aumento en los ingresos de un 9,9 %. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y los aspectos que mayor incidencia tienen sobre el costo de producción se pueden analizar las siguientes vías para lograr que la inversión sea factible:

- Disminución del CTP, principalmente disminuyendo los consumos de materias primas y materiales y de los servicios. Para los servicios en el caso del consumo de agua la principal estrategia a seguir es el cierre de los circuitos primarios, secundarios y terciarios implementando sistemas de recuperación de agua y fibra en la planta.
- Aumento de los precios del producto final logrando un incremento de la calidad final del papel, lo que se traduce en la solución de las deficiencias del equipamiento

Conclusiones

1. Los beneficios cuantitativos que se obtienen con el proyecto en ejecución con respecto al proceso actual en operación son de 206 605,00 CUC/año, por concepto ahorro de agua, electricidad, salario, mantenimiento y fibra.
2. Es económicamente factible el nuevo sistema de preparación de pastas, con un tiempo de recuperación de la inversión es de 4,1 años.
3. A través de la evaluación del equipamiento y sistema de tuberías se define que existe coincidencia entre la información de proyecto y los valores calculados, en cuanto a consumos de potencia, velocidades de los fluidos y caídas de presión en las tuberías, pero se recomienda modificar la altura del tamiz cilíndrico horizontal; utilizar la torre de alta densidad como tanque de almacenamiento, modificar las conexiones de tuberías entre el pulpeador, pozo de sedimento y tamiz horizontal y reubicar válvulas en determinados secciones de las tuberías.

Bibliografía

1. FAO: "Technology assessment and transfer for sustainable agriculture and rural development in the Asia-Pacific Region", 1996. <http://www.fao.org/sd/RTdirect/RTre0019.htm>.
2. Argonne National Laboratory. "Technology Evaluation", The University of Chicago, U.S. Department of Energy, 2006. <http://www.anl.gov>
3. Resolución 91 del Ministerio de Economía y Planificación: "Indicaciones para el proceso inversio-nista", Capítulo XIII, artículo 207, Cuba, 2006.
4. HERNÁNDEZ, T., J. P. "Estrategia para la evaluación tecnológica en la etapa exploratoria del Análisis Complejo de Procesos en plantas de gases industriales", Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias, UCLV, Cuba, 2008. Págs. 5.
5. Ek, M., GELLERSTEDT, G. "Pulp and Paper Chemistry and Technology", Vol. 2, Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Göttingen, Germany, 2009. Pág. 392.
6. GDRC. Technology Transfer and Management: "How to do an Environmental Technology Assessment", The Global Development Research Center, USA, 2002. <http://www.gdrc.org/techtran>.
7. HERNÁNDEZ, J. P., GONZÁLEZ, V, GARCÍA, A. "Estudio de evaluación tecnológica en la Papelera Pulpa Cuba", Revista Cubana de Química. vol. XVIII No. 1, Editorial Dirección de ICT de la Universidad de Oriente, 2006. Págs. 109.
8. Shandong Huachen International Group Co., Ltd.: "News Paper Production Line", China, 2009. <http://swaninternational.org/news.asp>.
9. VENDITTI. R. "Paper Recycling Technology", Dept. of Wood and Paper Science North Carolina State University, Research Projects in Paper Recycling, 2010 <http://www4.ncsu.edu/unity/users/r/richardv/www/documents/Presentation108HODetailedpart1best.pdf>