

V Seminario Euro- Latinoamericano en Sistemas de Ingeniería V-SELASI

Aplicación de Análisis de Ciclo de Vida y Simulación de procesos, para evaluar Técnica, Económica y Ambientalmente las alternativas de mejora en la producción de papel

MSc. Ing. Rodríguez Pérez, Berlan. E-mail briguez@ucf.edu.cu

Profesor de Ingeniería de la Calidad

Departamento de Ingeniería Industrial

Universidad de Cienfuegos, Cuba

17/06/2009

Resumen

En la planta "Damuji" de la provincia de Cienfuegos, Cuba, se produce una gran parte del papel kraft empleado en las cajas de cartón que se usan como envases y embalajes. Esta empresa ha presentado diversos problemas con las autoridades ambientales por la contaminación que genera a su río homónimo, hacia el cual vierten sus efluentes líquidos y por las emisiones de gases y el consumo excesivo de su caldera de generación de vapor.

El proceso de producción estaba sujeto a la introducción de tres posibles mejoras: Cierre del circuito de agua, el cual permitiría reutilizar el agua en el proceso reduciendo su consumo actual y el uso de aditivos químicos, los cuales también se recuperan; cambio de la caldera de generación de vapor por una más eficiente, lo cual disminuiría la cantidad de vapor generado por unidad de combustible; la otra posible alternativa era la reactivación del sistema de residuales de la planta, el cual se encontraba en muy mal estado.

El presupuesto de la entidad no era suficiente para llevar a cabo todas estas mejoras y se requería priorizarlas. Es por ello que se debieron aplicar estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y la simulación del proceso; para evaluar Técnica, Económica y Ambientalmente las alternativas.

Según esta investigación se pueden ejecutar, el cambio de la caldera y la reactivación del sistema de residuales o el cierre del circuito de agua, decidiéndose por esta última según los criterios planteados.

1. Caracterización administrativa de la papelería Damují.

La entidad perteneciente al grupo Empresarial de la Industria Química, subordinada al Ministerio de la Industria Básica, se encuentra situada en el poblado de constancia, municipio de Abreus de la provincia de Cienfuegos. Su área de emplazamiento es de 4 hectáreas, su capacidad de producción es de 24 000 T/año y la misma funciona desde el año 1962. Esta fábrica se dedica a la conformación de medio para ondular, linner, papel de envoltura y cartulina los cuales se comercializan en resmas y bobinas. En la actualidad la elaboración de medio para ondular representa su tipo de producción fundamental, su personal en plantilla es de 216 trabajadores.

El objeto empresarial de la entidad está planteado como sigue: Producir y comercializar de forma mayorista medios para ondular, cartulina, papel de envoltura, y linner en bobinas o resmas según corresponda, tanto en moneda nacional así como en divisas.

Por lo que el consejo de dirección plantea que su Misión es: Producción y comercialización mayorista en Moneda Nacional y Divisa, de medio para ondular, papel, cartulina y linner en bobinas, cumpliéndose con los requerimientos de los clientes en calidad, oportunidad y precios, lográndose con eficiencia y eficacia.

La visión de futura que tienen los directivos de la entidad es: Ser la UEB cubana líder en la producción de medio para ondular y papeles de envolver con destino al mercado nacional y para la exportación, en el mercado del área de Centroamérica y el Caribe, con parámetros que alcancen los de los competidores en esta área en calidad y costos.

La Dirección Comercial es la encargada de realizar las contrataciones a través de QUIMIMPEX, la firma comercial Cubana importadora y exportadora para los productos del papel, en cuanto a la importación de los suministros de las materias primas y materiales necesarios, fundamentalmente de los papeles reciclados tipo Kraft y gaceta, de equipos y de repuestos específicos, paños y mallas, AKD, parafina, almidón, catalizador para adhesivo, acetato de polivinilo, dextrina,

papel kraft extensible y plano, linner de fibra virgen, tintas, etc. Además de contratar la venta de las producciones tanto en el mercado extranjero como en el nacional.

2. Análisis de los residuales fabriles más incidentes en el río Damují.

Cuando se analizan los residuales más impactantes de la papelería, estos resultan ser:

- Licor negro (fuerte y débil).
- Sólidos en Suspensión.

Licor negro (fuerte, débil): Este contaminante es resultado de la cocción del bagazo en el digestor mediante vapor seco sobrecalentado y la adición de agua con una concentración al 6 % de Sosa Cáustica, por lo que a su disposición final implica una amplia gama de contaminantes sumamente tóxicos, el nombre dado a este tipo de contaminante en las industrias papeleras, "licor negro", denota el color extremo que toma el agua, así como el nivel dañino a organismos vivos que interactúen con ella.

Sólidos en Suspensión: Este contaminante está presente en todas las aguas vertidas por la papelería, son resultado del proceso productivo, cuando este realiza necesarias operaciones clasificatorias y de separación de fibras indeseadas (meollos) que van a parar directamente sin ningún tipo de tratamiento a las zanjas de residuales de la fábrica camino al río.

A continuación se presentan los datos utilizados para evaluar los impactos según la producción del año 2008.

Tabla 1: Datos relacionados con utilización del agua para el año 2008

Real de producción	4313 t papel
Consumo de agua fresca	365188 m3
Índice de consumo de agua	84.67 m3/t ppl
Consumo de agua fresca	15218.25 m3
Aguas residuales vertidas	349969.75 m3

Índice de vertido	81.14 m3 /t ppl
Costo del vertido residual	\$ 6999.395
Costo de agua fresca	\$ 7303.76

Tabla 2: Indicadores de consumo energético para el año 2008

<i>Indicador</i>	<i>UM</i>	<i>2008</i>
Electricidad Gen.	MWh	4369,957
Electricidad Fábrica	MWh	3639,957
Electricidad parada	MWh	348,362
Electricidad Producción	MWh	3291,595
Fuel Oil(Crudo N.)	t	1296,826
Combustible Diesel	t	43,443
Diesel Directo	t	27,574
Diesel Indirecto	t	15,869
Gasolina Regular	t	8,041
Gasolina Directa	t	
Gasolina Indirecta	t	8,041
Aceites Lubricantes	t	5,442
Grasas Lubricantes	t	0,1840
Gas Licuado(GLP)	t	0,7200
Combustible Eq.	t cc	4166,734
Producción en UF	t	4313,130
Producción MP	t	2394,879
Intensidad energética	Kgcc/p eso	1,740
Agua	m ³	365188,28
Vapor	t	16057,393

Tabla 3: Indicadores de consumo de materias primas para el año 2008

<i>Indicadores</i>	<i>Cantidad (t)</i>
<i>Recorte</i>	1,254
<i>Pulpa de bagazo</i>	0,077
<i>Hipoclorito de Sodio</i>	0,05100
<i>Acido Sulfúrico</i>	0,010
<i>NaOH (Máquina)</i>	0,00020
<i>NaOH (Pulpa)</i>	0,113

<i>Bagazo</i>	3,409
<i>Hidrato de Cal</i>	0,0020
<i>Carbonato de Sodio</i>	0,00014
<i>Fosfato de sodio</i>	0,00001
<i>Sulfito de Sodio</i>	0,000003
<i>Cloruro de sodio</i>	0,00048
<i>Almidón</i>	0,00100
<i>% Fibra</i>	133,1

La calidad de las aguas en el río Damují, cercano a la empresa, y receptor de las aguas residuales de la misma, se evalúa periódicamente considerándose como “mala” ya que los índices obligatorios (DBO5, DQO, O2, PH) no deberían haber presentado problemas, sin embargo muestran los siguientes comportamientos:

- La DBO5 de todos los años está por encima de lo estipulado en las normas cubanas para la buena calidad de cuerpo de agua dulce para uso pesquero, en el 100% de los factores analizados.
- La DQO solo reportó en los años 2007 y 2008 una cierta recuperación, pero con respecto a los demás valores está en una situación desfavorable.
- El Oxígeno disuelto, a pesar de que no existe en la norma citada anteriormente, se pueden apreciar valores críticos y de poca saturación.
- Los valores del PH se encuentran dentro de los estipulados por la norma cubana.

Cuando algunos de los parámetros muestreados que pertenecen a los índices obligatorios se evalúa de malo, automáticamente la calidad del agua se evalúa como tal.

3. Alternativas propuestas para la mejora del proceso.

El impacto ambiental de la papelera será estimado a partir de la aplicación de la técnica del análisis de ciclo de vida, ya que esta es, a opinión del autor del presente trabajo, la

herramienta más completa de evaluación. Por lo que se seguirán los pasos descritos en la metodología de la norma internacional ISO 14041.

El proceso de producción estaba sujeto a la introducción de tres posibles mejoras:

1. Cierre del circuito de agua, el cual permitiría reutilizar el agua en el proceso reduciendo su consumo actual y el uso de aditivos químicos, los cuales también se recuperan.
2. Cambio de la caldera de generación de vapor por una más eficiente, lo cual disminuiría la cantidad de vapor generado por unidad de combustible;
3. Reactivación del sistema de residuales de la planta.

La materia prima que tiene una mayor contribución en la producción de 1t de papel es el Petróleo Crudo Cubano con un 43%. Para identificar con mayor precisión cuál o cuáles de las materias primas utilizadas tienen un mayor impacto ambiental se comparan usando el método Impcat 2002+, mostrado según su impacto en la figura 1.

1. Petróleo Crudo Cubano
2. Diesel
3. Agua
4. NaOH
5. Aceites y Lubricantes
6. Otros (el resto de las materias primas)

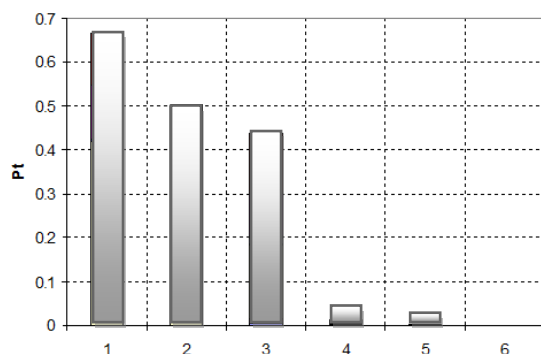


Figura 1: Comparación de las sustancias con mayor contribución ambiental.

Esto se debe al uso diario que tiene el crudo y principalmente a las emisiones que tiene la combustión de crudo para la producción diaria, en el generador de vapor, estas son:

8.2 t de dióxido de azufre (SO₂) que se analiza dentro de la categoría de respiración de sustancias inorgánicas teniendo un efecto local; además es una sustancia que causa acidificación terrestre y acuática ambas categorías con un efecto regional.

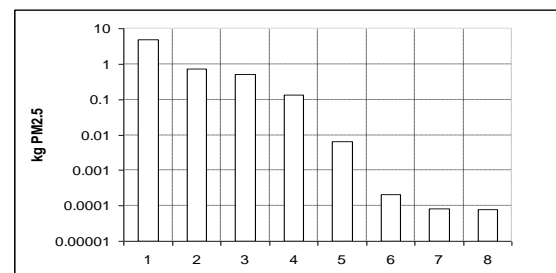


Figura 2: Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de respiración de sustancias inorgánicas para 1t de papel.

- 1 - Dióxido de Azufre (SO₂)
- 2 - Óxidos de Nitrógeno (NO_x)
- 3 - Partículas, < 2.5 um
- 4 - Óxidos de Azufre (SO_x)
- 5 - Amoníaco (NH₃)
- 6 - Partículas, < 10 um (estacionarias)
- 7 - Monóxido de Carbono (CO)
- 8 - Partículas, < 10 um (móviles)

Con el gráfico anterior se demuestra que las emisiones de Dióxido de Azufre (SO₂) son las de mayor impacto en la categoría de respiración de sustancias inorgánicas.

168.96 t de dióxido de carbono (CO₂) sustancia causante del calentamiento global.

En el gráfico se visualiza claramente la importancia de reducir las emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), por la gran

contribución que tiene y los efectos que esto puede traer.

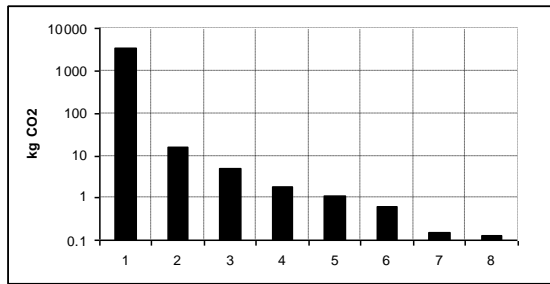


Figura 3: Representación gráfica de las sustancias que intervienen en la categoría de impacto calentamiento global para 1t de papel.

- 1 - Dióxido de Carbono (CO2)
- 2 - Monóxido de dinitrógeno (NO2)
- 3 - Metano, fósil (CH4)
- 4 - Monóxido de Carbono (CO)
- 5 - Hexafluoruro de Azufre
- 6 - Tetrafluoruro Metano, FC-14
- 7 - Hexafluoruro Etano, HFC-116
- 8 - Tetrafluoruro Etano

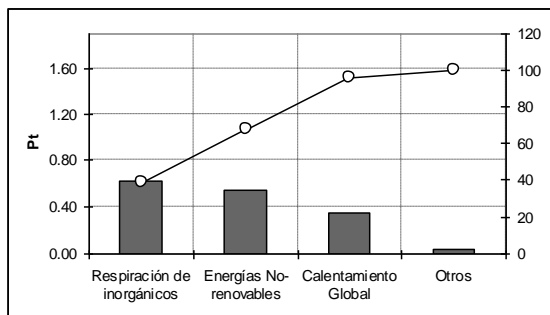


Figura 4: Diagrama de Pareto con la ponderación obtenida de cada categoría de impacto

A partir de un diagrama de Pareto, es posible comprobar que las categorías de impacto causantes del impacto ambiental que genera la producción de 1t de papel, son la respiración de sustancias inorgánicas, el uso de energías no-renovables, y el calentamiento global, siendo necesario buscar y comprobar cuáles son las medidas a tomar para mitigar el

problema detectado en cuanto a las emisiones de dióxido de azufre y dióxido de carbono.

Variante de solución I: Cierre del Circuito de agua

Esta variante de solución consiste en almacenar el agua resultante del proceso de producción en un tanque, desde el cual se procederá a extraer los sólidos en suspensión y los compuestos químicos utilizables del Licor Negro permanecen en el agua para su posterior uso en el proceso.

Con esta forma de empleo del agua se podrá disminuir los bombeos de agua desde el pozo que abastece a la empresa, reduciendo también los vertidos de agua residual hacia el río.

El impacto directo de esta medida, podrá verse manifestado en la disminución de los valores de electricidad consumida, relacionados con el bombeo de agua desde el pozo, así como la reducción de materias primas utilizadas para su tratamiento.

El impacto sobre el índice de consumo de agua que tendrá esta medida implicará una disminución desde 84.67 m3/t papel a unos 4.5 m3/t papel. Medida que además reducirá el consumo anual de la planta de 3639,957 MW/h a 1310.384 MW/h, un 64 % de disminución.

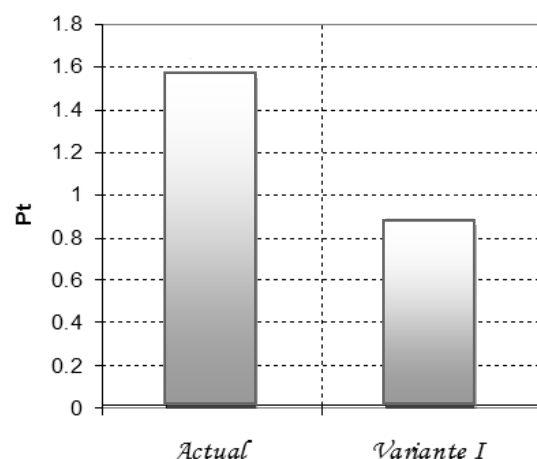


Figura 5: Comparación de impacto ambiental del proceso actual y con la aplicación de la variante I

Como se puede apreciar se evidencia una disminución del impacto ambiental de la empresa al aplicar la variante I de solución.

Los resultados de la valoración económica con la aplicación de esta variante de solución son los siguientes:

$VAN(\text{Valor Actual Neto}) = 3206125.93 \text{ USD}$

$PRI(\text{Período de Recuperación de la Inversión}) = 1.5 \text{ años}$

$TIR(\text{Tasa Interna de Retorno}) = 26.2\%$

Variante de solución II: Cambio de la caldera.

Con la aplicación de la medida anterior se reduce considerablemente el impacto ambiental pero se sigue emitiendo CO_2 , emisiones de dióxidos de azufre y otras sustancias inorgánicas que provocan calentamiento global y pueden ser inhaladas por lo seres humanos incidiendo en la salud.

El cambio de la caldera requiere de una inversión la cual estará sobre los 4 060 800 dólares. Utilizando el método de Análisis de Ciclo de Vida se procede a comparar los resultados que tendrá la aplicación de esta medida.

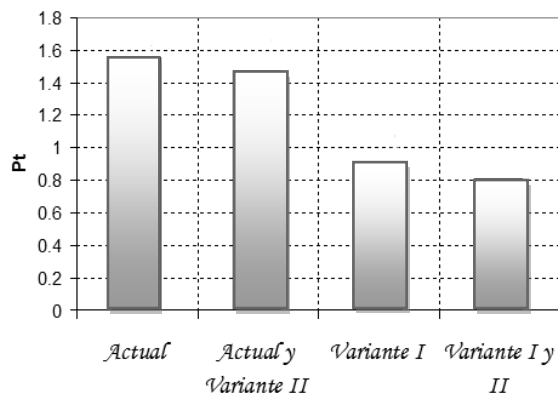


Figura 6: Comparación de las variantes propuestas con respecto a la producción actual de 1t de papel.

Los resultados de la valoración económica con la aplicación de esta variante de solución son los siguientes:

$VAN(\text{Valor Actual Neto}) = 65567.54 \text{ USD}$

$PRI(\text{Período de Recuperación de la Inversión}) = 7.5 \text{ años}$

$TIR(\text{Tasa Interna de Retorno}) = 13.2\%$

Variante de solución III: Reactivación del sistema de tratamiento de residuales de la planta.

La reparación del sistema de tratamiento de la planta ha sido lograda a partir de la implementación de un proyecto de desarrollo del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente del país, este proyecto financió la realización de todos los trabajos relacionados con la planta de tratamiento.

Este proyecto se llevó a cabo en los primeros meses del presente año 2009, por lo que los valores de impacto después de la puesta en marcha de la planta remodelada no están disponibles aún.

Conclusiones Generales

- Un análisis del ciclo de vida con el uso del software SimaPro 7.1 mostró que las categorías de impacto más afectadas son: la respiración de sustancias inorgánicas, el calentamiento global y el uso de energías no-renovables, lo que implica que las categorías de daño más afectadas sean la salud humana y el cambio climático.
- Como primera variante de mejora ambiental se propone el cierre del circuito de agua, lo cual disminuiría notablemente el impacto ambiental en un 42.95%. Se demuestra la factibilidad técnica y económica de esta propuesta, dejándose de emitir al año 8448.3t de CO_2 y 375.48t de SO_2 además de una disminución del uso de 345471.3 M3 de agua al año.
- Como una segunda variante se plantea la instalación de una nueva caldera para la generación de vapor con la que se disminuiría el impacto ambiental en un 18.72%, se dejan de emitir a la atmósfera más de 2000 t de CO_2 al año, sin embargo el período de recuperación de la inversión resulta un poco alto.

Referencias Bibliográficas

Cardim de Carvalho Filho, A. (2001). *"Análisis del ciclo de vida de productos derivados del cemento – Aportaciones al análisis de los inventarios del ciclo de vida del cemento"*. Unpublished Doctorado en Ingeniería Civil, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.

González Morales, V. (2008). *"Tecnología tradicional de producción de alcohol etílico"*. Cuba: UCLV "Marta Abreu".

Iglesias, D. H. (2005). *"Relevamiento exploratorio del análisis del ciclo de vida de productos y su aplicación en el sistema agroalimentario"* [Electronic Version], 63. Retrieved Enero, 2009 from <http://www.eumed.net/ce/2005/dhi-acv.pdf>.

INICA. (2009). *"Recomendaciones de Fertilizantes"*. Cienfuegos, Cuba: Unidad autofinanciada servicios científico técnicos especializados. SERFE. MINAZ.

Nova Glez, A. (2006). *"La agricultura en Cuba: evolución y trayectoria (1959-2005)"*. La Habana, Cuba: Editorial de Ciencias Sociales. ISBN 959-06-0702-0. pp. 286-301.

Panichelli, L. (2006). *"Análisis de ciclo de vida de la producción de biodiesel en Argentina"*. Escuela para Graduados "Alberto Soriano", Buenos Aires, Argentina.

Ramos León, S. (2008). *"Evaluación de indicadores medioambientales en la Empresa ALFICSA, de Aguada de Pasajeros"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

Romero Rodríguez, B. I. (2004). *"El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental"* [Electronic Version], p. 7. Retrieved Diciembre, 2008 from www.iie.org.mx/boletin032003/tend.pdf

Suárez Olivera, P. V. (2008). *"Análisis de Ciclo de Vida para la evaluación ambiental de la UEB-Sergio González"*. UCf Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos, Cuba.

Suppen, N. (2007). *"Conceptos básicos del Análisis de Ciclo de Vida y su aplicación en el Ecodiseño"*. México: Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable. from disponible en: www.lcamexico.com.

Veiga. (2008). *"El estado mundial de la agricultura y la alimentación"*. ISBN 978-92-5-305980-5. ISSN 0251-1371. p. 15.

Villarroel Castro, J. M. y. O. B., Lino (2008). *"Combustibles alternativos en el transporte de Cuba"*. *Revista Eco Solar*, Vol. 9.

Zaratiegui, J. R. (1999). *"La gestión por procesos: su papel e importancia en la empresa"*. *Revista Economía Industrial*, Vol. VI, España. p. 82.



Sobre el autor

Nombre: **Berlan**

Apellidos: **Rodríguez Pérez**

Dirección electrónica: **briguez@ucf.edu.cu**

Edad: **28 años**, sexo: **masculino**

Principales Estudios Realizados:

1999-2004: Carrera Ingeniería Industrial, Universidad de Cienfuegos, Cuba.

2006-2008: Maestría en Matemática Aplicada, Especialización en Estadística Matemática. Universidad de Cienfuegos, Cuba

2007- Actualidad: Doctorado Saneamiento Ambiental y Seguridad Tecnológica, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Cuba, Universidad de Gent, Bélgica.