

POTENCIALIDADES PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUALES LÍQUIDOS EN LA PRODUCCIÓN DE ACETILENO

Adelmo Montalván Estrada*, Francisco Martínez Luzardo**, Eduardo Veitia

Rodríguez*, Osvaldo Brígido Flores*, Orlando Fabelo Bonet*, Lázara Cabrera Basulto*

*Centro de Ingeniería Ambiental de Camagüey, **Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas,

*** Departamento de Química, Universidad de Camagüey

El trabajo se planteó el objetivo de evaluar las potencialidades para el aprovechamiento material y energético del residual líquido de la producción de acetileno, y sus implicaciones ambientales y económicas; para ello se realizó una caracterización de residuales del proceso en una planta de acetileno. Se determinó la influencia de variables tales como los volúmenes de producción, eficiencia del tratamiento, y aprovechamiento de la lechada, en las cargas contaminantes de parámetros significativos, las cuales alcanzaron valores en el 2008 de 265 T de sólidos totales, 1680 m³ de sólidos sedimentables, 3,7 T de Calcio, y 4,2 T de DQO. Aunque los residuales del proceso son aprovechados parcialmente como lechada para pintura, aún quedan amplias potencialidades para su mayor uso, que generarían ingresos económicos importantes. La evaluación termodinámica de los residuales líquidos generados mostró que por cada metro cúbico de acetileno producido se liberan 5 580 kJ de energía. Se concluye que los residuales líquidos de la producción de acetileno pueden aprovecharse material y energéticamente, reduciendo así el impacto ambiental negativo de su vertimiento al medio.

Palabras clave: acetileno, contaminación, industria, residuales líquidos.

The goal of this paper was the evaluation of the material and energetic potentialities of liquid wastes in acetylene production, and their environmental and energetic implications; with that purpose a liquid waste characterization was done in an acetylene plant. There were determined the influence of such variables as: production volumes, treatment efficiencies, and whitewash use, in the pollution loads of significant parameters which in 2008 amounted the following values: 265 T of total solids, 1680 m³ of sedimentable solids, 3,7 T of Calcium, and 4,2 T of COD. Although the liquid wastes of the process are partially used as paint, there remain wide potentialities that would generate important economic revenues. The thermodynamic evaluation of liquid wastes has shown that for each cubic meter of acetylene there are generated 5580 kJ of energy. It is concluded that liquid wastes in acetylene production can be materially and energetically used, decreasing the negative environmental impact of their disposal into the environment.

Key words: acetylene, pollution, industry, liquid wastes.

Introducción

La industria cada vez muestra mayor interés en una gestión ambiental sostenible, debido a la combinación de tres factores: la necesidad de una mayor eficiencia en el empleo de los recursos materiales y energéticos, una legislación ambiental más rigurosa, y la presión de la comunidad a medida que los reveses ecológicos se hacen más frecuentes y profundos /1/. Estos factores de presión, han provocado que la estrategia ambiental corporativa haya evolucionado rápidamente desde una posición correctiva hacia una posición productiva, enfocada; en los más avanzados exponentes, hacia la sostenibilidad /2, 3/.

Las corrientes de salida secundarias en los procesos industriales (entre las cuales se encuentran los residuales líquidos) constituyen una necesidad avalada por el segundo principio de la termodinámica, por lo que reducir a cero la cantidad de desechos es imposible /4/; sin embargo, la ineficiencia de los procesos industriales provoca la generación de enormes cantidades de desechos que requieren de una gestión adecuada. Al respecto, se han desarrollado enfoques de gestión que priorizan la búsqueda de eficiencia en los flujos materiales y energéticos dentro de la propia organización: producciones más limpias, minimización de residuos; mientras que otros en-

foques promueven el empleo de las sinergias que pudieran establecerse entre las organizaciones, a similitud de los ecosistemas naturales: ecología industrial. En opinión de algunos autores, es más prometedor el empleo combinado de ambos enfoques; así Nemerow /5/ propone los siguientes métodos para lograr el mínimo de residuos: recobrado y reuso dentro de la propia planta (25-75 % de reducción), recobrado y venta de desechos a otras plantas, creación de complejos industriales que unen a las industrias generadoras de desechos y a las usuarias de los mismos.

En las condiciones actuales de nuestro país no se vislumbra en un corto plazo la introducción de cambios tecnológicos radicales que favorezcan la minimización de residuos, ni tampoco existe la diversificación industrial necesaria para poder crear complejos eco-industriales de importancia. Sin embargo, es evidente en el país el impacto causado por el vertimiento de aguas residuales industriales a los cuerpos receptores, en especial en los cursos de aguas superficiales /6, 7/.

La estrategia ambiental nacional de Cuba para el período 2007-2010, /8/, identifica dentro de los principales problemas ambientales a la contaminación y a la carencia de agua, y propone como uno de sus objetivos estratégicos el de mejorar el abastecimiento y calidad del agua, incrementando su uso racional. Se hace imprescindible, entonces, la necesidad de una gestión efectiva e integrada de los procesos industriales vinculados a las aguas residuales y sus efectos en los cursos de aguas superficiales.

En mayo del 2007, en el inventario nacional de fuentes contaminantes se registraban 112 fuentes pertenecientes a la provincia de Camagüey, las cuales generaban un total de 17 295 T/año de carga contaminante expresada como DBO₅ y disponían un total de 9 559 T/año en 18 cuencas hidrográficas del territorio. El sector industrial camagüeyano centra su actividad en el procesamiento de alimentos, destacándose las industrias azucarera láctea, conservera, cárnica, y de procesamiento de pescados; aunque también existen industrias que vierten aguas residuales no biodegradables.

El acetileno es un gas de amplio uso en procesos de soldadura y corte de metales y aleaciones; uno de los métodos establecidos para su obtención industrial se basa en la reacción química del carburo de calcio y el agua; como resultado de este proceso se generan residuales líquidos con elevado contenido de sólidos sedimentables y a altas temperaturas.

El objetivo del trabajo es evaluar las potencialidades para el aprovechamiento material y energético del residual líquido de la producción de acetileno, y sus implicaciones ambientales y económicas.

Materiales y métodos

Se realizó una caracterización de residuales líquidos del proceso de producción de acetileno, que incluyó la identificación de las fuentes de aguas residuales, los flujos, y composición de las mismas; para ello se realizó una serie de cinco muestreos compuestos en puntos escogidos del proceso, y los parámetros fundamentales se determinaron según los procedimientos de ensayo recomendados en /9/.

Los caudales se evaluaron por el método volumétrico, determinando el tiempo de llenado de un recipiente de volumen conocido. El análisis termodinámico se realizó, aplicando las leyes de la termodinámica clásica; en específico el cálculo del calor de reacción a presión constante (variación de entalpía).

Resultados y discusión

El proceso de obtención del acetileno se basa en la reacción química que tiene lugar cuando el carburo de calcio se pone en contacto con el agua. Esta reacción es muy violenta; en la misma se desprende una gran cantidad de calor, el cual se evacua por medio del agua en exceso que se añade en el proceso, la cual sale del generador junto con el hidróxido de calcio (lodo) que se obtiene como desecho de esta producción y que más tarde se destina a otros usos.

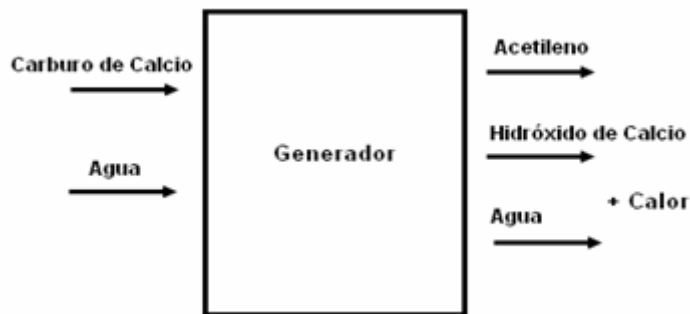


Gráfico 1 Esquema simplificado del proceso de obtención de acetileno.

Las principales fuentes de residuales líquidos del proceso son las siguientes:

- Agua proveniente del generador durante el proceso
- Agua de limpieza del generador

Los residuales líquidos reciben un tratamiento preliminar en un tanque de sedimentación antes de ser vertidos en el cuerpo receptor.

Los resultados obtenidos en la caracterización del afluente y el efluente del tanque de sedimentación se muestran en la tabla 1.

Tabla 1
Estimación de los valores medios de parámetros significativos por punto de muestreo

Parámetro Analizado	Unidad de Medida	X ± S	
		Afluente tanque	Efluente tanque
1. Temperatura	°C	56,6 ± 1,4	52,0 ± 1,4
2. Sólidos totales	mg/L	117 500 ± 15 480	72 320 ± 10 570
3. S Sedimentables	mL/L	628 ± 91	446 ± 95
4. pH	U	12,2 ± 0,2	12,1 ± 0,1
5. Conductividad E.	µS/cm	9 714 ± 393	8 814 ± 2 137
8. DQO	mg/L	2 327 ± 978	1 159 ± 111
10. Calcio	mg/L	1 100 ± 120	1 014 ± 176

Los resultados de los ensayos muestran que las aguas residuales del proceso poseen un elevado contenido de sólidos fácilmente sedimentables, compuestos por los productos de la reacción (hidróxido de calcio) e impurezas que acompañan al carburo de calcio, las cuales son mayores en materias primas de producción nacional. Las aguas residuales contienen elevadas concentraciones de iones de calcio y OH⁻, lo que influye en el pH

básico y valores elevados de conductividad eléctrica. La reacción química para la obtención del acetileno es exotérmica (ocurre con desprendimiento de calor), por tanto, la temperatura de los productos de la reacción es mayor.

El tiempo de residencia del agua residual del proceso en el tanque de decantación permite que se transfiera parte del calor al medio, con la consiguiente reducción de temperatura. También

ocurre la sedimentación parcial de los sólidos, lo cual contribuye a la disminución de los valores de los parámetros evaluados.

En la actualidad, el agua residual del proceso se hace pasar por un tanque de almacenamiento y decantación antes de ser bombeada a carros cisternas u otros recipientes para ser usada como lechada, o ser vertida al cuerpo receptor cuando el volumen de agua sobrepasa la capacidad de almacenamiento del tanque. De acuerdo a las dimensiones del tanque de decantación, el volumen de agua residual del proceso que puede almacenarse es de $10,7 \text{ m}^3$ aproximadamente. Sin embargo, la altura de succión de la bomba centrífuga está a un metro del fondo del

tanque, por lo que en el proceso de bombeo éste no se vacía completamente, quedando un volumen remanente de unos $5,6 \text{ m}^3$ (52 % del volumen total de almacenamiento).

El caudal del afluente es variable, con un rango de $0,5 \div 1,3 \text{ L/s}$, y una estimación de la media de $(0,9 \pm 0,1) \text{ L/s}$ con un 95 % de confianza. El tiempo de retención aproximado del residual en el tanque de sedimentación es de 95 min. (1,6 h), el cual es insuficiente para lograr una sedimentación total de los sólidos que acompañan al agua. La eficiencia del tratamiento depende del tiempo transcurrido desde el inicio del vertimiento, siendo mejor al principio (gráfico 2).

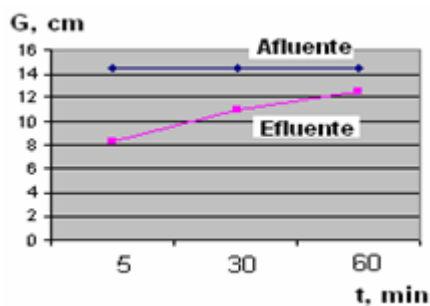


Gráfico 2 Dependencia de la eficiencia de tratamiento del tiempo de vertido.

Donde G- Altura de la capa de lodo en un litro de residual, transcurridos 30 min. desde la toma de la muestra.

Tomando como referencia los valores medios de parámetros seleccionados para el afluente y el efluente, el tanque de decantación elimina el 38 % de los sólidos totales y el 29 % de los sólidos sedimentables; también reduce la DQO en un 50 %. Para los valores de pH, conductividad eléctrica, y concentraciones de calcio, las diferencias no son estadísticamente significativas. No obstante, el vertimiento de estos residuales incumple la NC 27:99 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terres-

tres y al alcantarillado. Especificaciones”. Los resultados de pruebas de hipótesis efectuados indican que para la temperatura, el pH, y la DQO, se puede aceptar la hipótesis de que sus valores son mayores que el LMPP con un 99,99 % de confianza; para los sólidos sedimentables se puede aceptar la hipótesis que su valor es mayor que el LMPP con un 99,9 % de confianza; mientras que para la conductividad eléctrica, se puede aceptar la hipótesis que su valor es mayor que el LMPP con un 99 % de confianza.

La carga contaminante dispuesta, se muestra en la tabla 2.

Tabla 2
Carga contaminante para diversos parámetros, en los últimos tres años

Año	Sólidos totales		Sólidos sedimentables		Calcio		DQO	
	T/año	kg/día	m ³ /año	m ³ /día	T/año	kg/día	T/año	kg/día
2006	225	616	1385	3,8	3,1	8,5	3,6	9,9
2007	187	512	1154	3,2	2,6	7,1	3,0	8,2
2008	265	724	1634	4,5	3,7	10,1	4,2	11,5

En los valores de carga contaminante influyen tres variables:

- Volúmenes de producción
- Eficiencia del tratamiento
- Aprovechamiento de la lechada

En los últimos tres años el sistema de tratamiento ha permanecido invariable, por tanto la

carga contaminante dispuesta ha dependido de los volúmenes de producción y del aprovechamiento de la lechada de cal. Debiera esperarse una correlación directa entre estas variables, sin embargo los datos muestran una correlación inversa: a medida que se elevan los volúmenes de producción de acetileno, disminuyen los volúmenes de lechada comercializados.

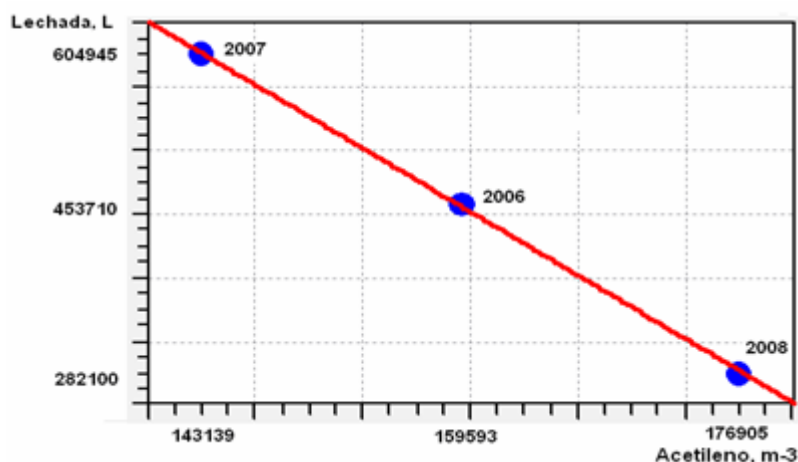


Gráfico 3 Relación entre la producción de acetileno y la comercialización de lechada.

Es necesario señalar que desde el punto de vista medioambiental, la comercialización de la lechada

como pintura solo transforma la contaminación de puntual a difusa, la cual es más difícil de controlar.

Potencialidades económicas del aprovechamiento de la lechada de cal

La lechada de cal es un residuo de la producción de acetileno, que posee una buena

aceptación en el mercado. El precio de venta es de 80 centavos el litro. Sin embargo, la industria aún cuenta con un elevado potencial para la utilización de este residuo, tal como muestra la siguiente tabla.

Tabla 3
Uso del agua residual en los últimos tres años

Año	Volumen de agua residual generada, m ³	Volumen de agua residual dispuesta, m ³	Volumen de agua residual utilizada, m ³	% de agua residual utilizada
2006	3 559	3 105	454	14,6
2007	3 192	2 587	605	23,4
2008	3 945	3 663	282	7,7

Por cada m³ de acetileno producido, se generan cerca de 22 litros de residuales líquidos en el proceso. Al precio de venta actual esto representa aproximadamente 17 pesos. En los últimos tres años la industria ha dejado de obtener ingresos por concepto de venta de lechada de cal en el orden de 7 500 000 pesos, cifra que justifica cualquier esfuerzo por tomar las medidas organizativas necesarias para la comercialización de la lechada.

acetileno producido se liberan 5 580 kJ de energía, suficientes para elevar la temperatura de 22 litros de agua desde la temperatura ambiente hasta más de 55 °C. En la actualidad toda esa energía se desaprovecha, teniendo como único efecto ambiental que el parámetro de temperatura incumpla con el límite máximo permisible promedio.

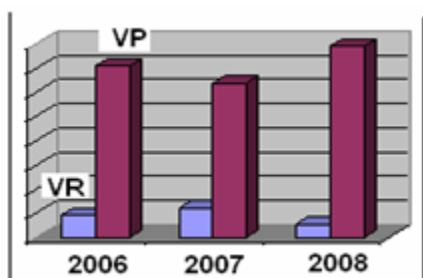


Gráfico 4 Comportamiento de las ventas de lechada en los últimos tres años.

Leyenda: VP- ventas potenciales;
VR- ventas reales

Potencialidades para el recobrado de energía de las aguas residuales

La reacción química para la obtención de acetileno es exotérmica, y libera 125 kJ por mol de acetileno producido. Por cada metro cúbico de

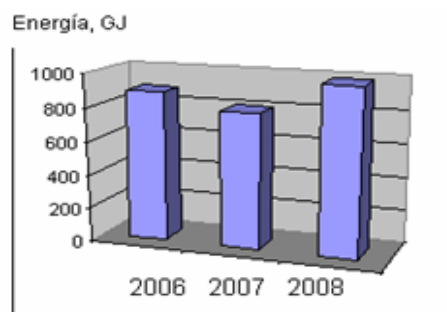


Gráfico 5 Potencial energético desaprovechado.

Oportunidades para una gestión eficiente

El proceso de producción de acetileno permite el establecimiento de tecnologías para el reciclado del agua de proceso, previa separación de los sólidos que contiene; tradicionalmente se ha empleado un sistema de tanques de decantación, donde por acción de la gravedad es posible obtener una elevada eficiencia de separación; su ventaja radica en la relativa sencillez de construcción y mantenimiento, mientras que la desventaja se observa en que el proceso de tratamiento requiere más espacio y tiempo.

En la actualidad las tecnologías de membrana y de filtración al vacío /10/ para el tratamiento están obteniendo amplia aceptación debido a que permiten la separación de los sólidos con eficiencia, reduciendo el tiempo de tratamiento; sin embargo, se requiere de una inversión en tecnología que puede estar fuera del alcance de las industrias cubanas.

La separación del agua permite una gestión más eficiente del lodo, ya que reduce los costos de transportación; también permite el tratamiento del lodo con aglomerantes, lo cual haría más atractivo desde el punto de vista ambiental la comercialización del lodo como pintura, ya que mejoraría sus propiedades adhesivas y se evitaría el lavado casi instantáneo de estas pinturas, lo cual provoca una contaminación difusa.

Conclusiones

Los residuales líquidos de la producción de acetileno poseen un elevado potencial para su aprovechamiento energético y material, lo cual reportaría importantes ingresos económicos a las entidades gestoras, y a su vez, evitaría la contaminación de los cuerpos receptores.

La implantación de tecnologías para la separación de los sólidos del residual líquido brinda oportunidades para el mejoramiento de la eficiencia: recirculación del agua de proceso, la reducción de los costos de transportación de los lodos, la mejora de las propiedades de la pintura obtenida a base del lodo.

Recomendaciones

Realizar estudios de factibilidad para la elección de tecnologías apropiadas que permitan la

gestión eficiente de los residuales líquidos de la producción de acetileno.

Realizar estudios que mejoren las propiedades adhesivas de la pintura a base del lodo, de tal forma que se reduzcan los riesgos asociados a la contaminación difusa.

Bibliografía

- Baracchini, P., "Guide á la mise en place du management environnemental en entreprise selon ISO 14 001", Deuxième édition, Presses Polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, 2004.
- Ehrenfeld, J., "Industrial ecology: a new field or only a metaphor?", *Journal of Cleaner Production*, 12(8-10):825-831, 2004.
- Lee, S., Rhee, S.: "From end-of-pipe technology towards pollution preventive approach: the evolution of corporate environmentalism in Korea", *Journal of Cleaner Production*, Mar2005, vol. XIII Issue 4, págs. 387-395, pág. 9, 2005.
- Baumgärtner, S., Swaan Arons, J.: "Necessity and Inefficiency in the Generation of Waste", *Journal of Industrial Ecology*, vol. VII, No 2, págs. 113-123, 2003.
- Nemerow, N.L.: "Zero pollution for Industry: waste minimization through industrial complexes". Wiley-IEEE, 1995.
- Montalván, A., Brígido, O.: "Autopurificación en aguas del Río Hatibonico". *Revista Cubana de Química*, Vol. XVII, No 3, pg (46-58), 2005.
- Terry, C.: "Gestión de residuales líquidos desde la perspectiva del consumo sustentable", *Memorias de la VI Convención de Medio Ambiente*, La Habana, Cuba, 2007.
- CITMA: *Estrategia Ambiental Nacional 2007-2010*, Editorial GEO, La Habana, 2007.
- APHA, AWWA, WEF., "Métodos normalizados para el examen del agua y las aguas residuales", Edición 20 (en CD-ROM); Nueva York, 1999.
- Palanisamy R., Agamuthu P., "Carbide sludge management in acetylen producing plants by using vacuum filtration". *Waste Management Research*, vol. XX, págs. 536-540, 2002.