

COMUNICACIÓN CORTA

**APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA WATER PINCH PARA
MINIMIZAR AGUAS RESIDUALES SULFUROSAS EN UNA
REFINERÍA DE PETRÓLEO**

**WATER PINCH TECHNOLOGY APPLICATION TO MINIMIZE SULPHUROUS
WASTEWATER IN AN OIL REFINERY**

Leidis Debora Mira^{1} y Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas¹*

¹ Refinería Cienfuegos S.A. Finca Carolina, km 3 ½. Código Postal- 55400. Cienfuegos, Cuba.

Recibido: Septiembre 9, 2019; Revisado: Octubre 17, 2019; Aceptado: Noviembre 18, 2019

RESUMEN

En los esquemas de refinación basados en el Hidrotratamiento, no existen condiciones tecnológicas para reutilizar las aguas industriales. Es objetivo del presente estudio aplicar la metodología de integración de procesos, *Water Pinch* a una unidad despojadora de aguas agrias de Refinería Cienfuegos S.A, para minimizar las aguas residuales sulfurosas y disminuir la contaminación de la bahía que recibe estos residuales. Esta tecnología permite identificar posibles vías de recuperación y reutilización del agua, sobre la base de los intervalos de concentración de contaminantes. Para lograr este propósito se evaluó dicha torre despojadora con la ayuda del *software Water Pinch*, lo que aportó una red de distribución optimizada como propuesta de mejora tecnológica. Esto facilitó recuperar y reutilizar 667 757,28 m³ de agua al año con ahorro de 1 035 023,78 CUC.

Palabras clave: agua residual; impacto ambiental; reutilización.

ABSTRACT

In refining schemes based on hydrotreatment, there are no technological conditions to reuse industrial waters. The objective of present study is to apply Water Pinch process integration methodology, to a wastewater stripper unit of Cienfuegos Refinery S.A, to minimize sulphurous wastewater and reduce pollution of the bay that receives these residuals. This technology allows identifying possible ways of water recovery and



Copyright © 2019. Este es un artículo de acceso abierto, lo que permite su uso ilimitado, distribución y reproducción en cualquier medio, siempre que la obra original sea debidamente citada.

* Autor para la correspondencia: Leidis Debora, Email: ldebora@refcfg.cu



reuse, based on the pollutant concentration intervals. To achieve this purpose, the stripper tower was evaluated using the Water Pinch software that provided an optimized distribution network as a technological improvement proposal. This made it easier to recover and reuse 667 757, 28 m³ of water per year, saving 1 035 023, 78 CUC.

Keywords: wastewater; environmental impact; reuses.

1. INTRODUCCIÓN

Para contrarrestar los impactos sobre la contaminación de las aguas se han desarrollado nuevas tecnologías, partiendo de factores fundamentales como la naturaleza y las propiedades físico-químicas del sistema, la factibilidad de la reutilización, la economía y la eficiencia de los procesos. En los últimos años, la efectividad de esos procesos se ha visto limitada debido a restricciones ambientales muy estrictas CITMA (Resolución 132, 2009).

Una de las posibles soluciones a esta situación es integrar los procesos, con el uso de tecnologías que permitan identificar los objetivos de eficiencia previos a cualquier actividad de desarrollo, así como usar estrategias viables para su aplicación. De acuerdo con Alva-Argáez (2007), los objetivos de dichas estrategias son diversos, por ejemplo, minimizar los requerimientos energéticos, la generación de residuales, o maximizar la eficiencia del proceso, entre otros. Visto así, esta investigación tiene como objetivo aplicar una de estas tecnologías, conocida comercialmente como *Water Pinch* para minimizar las aguas residuales sulfurosas de la refinería de petróleo y disminuir la contaminación de la bahía de Cienfuegos. La tecnología antes señalada será aplicada a una torre despojadora de aguas agrias como proceso unitario de Refinería Cienfuegos S.A y como material de estudio se asume el agua residual sulfurosa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Como objeto de estudio se seleccionó la Refinería Cienfuegos S.A por su alto consumo de agua (975 475 m³/año) y gran generación de residuales, propio de estas industrias. El producto seleccionado para el estudio es el agua residual sulfurosa, que se contamina con H₂S presente en la materia prima de la refinería (Lobelles y col., 2016). La utilización del *Software Water Pinch* para el análisis de una torre despojadora de aguas agrias como proceso fundamental, permite identificar qué parte del producto de fondo de la torre (agua despojada) puede usarse y reutilizarse en el proceso. Esta técnica se compone de tres estrategias (Byers et al., 2010):

- **Análisis.** Identificar el consumo y generación mínima de agua fresca y residual, respectivamente. (Determinación del punto Pinch). La estrategia consta de tres pasos:
 1. Diseñar un diagrama de flujo del sistema de agua, con todos los puntos donde se utiliza el agua y donde se genera residual. El balance de agua de la instalación define los datos adecuados para el análisis *Pinch* y determina las fuentes de agua y las demandas.
 2. Seleccionar los contaminantes claves, partiendo de que contaminante es cualquier propiedad que impida la reutilización directa de una corriente de aguas residuales. Con la colaboración de expertos, se elige el diseño de concentraciones máximas

permisibles para las demandas y el mínimo práctico para las fuentes.

3. Desarrollar el análisis *Pinch* para determinar coincidencias óptimas entre las fuentes y las demandas con el software apropiado. Se identifica el punto *Pinch* y se consideran las modificaciones del proceso regenerativo para garantizar las condiciones óptimas de reutilización. Repetir el paso 3 hasta que el diseño práctico haya evolucionado.
 - **Síntesis.** Diseñar una red de agua industrial para los flujos mínimos de agua fresca y residual, a través de la reutilización, regeneración y recirculación de las aguas.
 - **Cambios en el proceso.** Modificar la red de agua técnica existente para maximizar su reutilización y minimizar la generación de residual.

En este estudio será empleado el método perfil límite de agua establecido por Savelski (2000). Este es un método gráfico que propone una sola fuente de agua para identificar que un proceso puede tener aguas efluentes que suplan las necesidades de otro proceso. La construcción de la única curva compuesta comienza caracterizando las corrientes, cuyo proceso admita más carga de contaminantes (fuentes) y las corrientes que, por necesidades del proceso, necesiten deshacerse de las cargas contaminantes (demandas). Seguidamente se calculan las cantidades de carga contaminante que se transfiere de la corriente de demanda a la corriente fuente. Los ejes de la figura para la determinación del punto *Pinch* presentan: el nivel de pureza del agua en las abscisas y la cantidad de masa transferida en las ordenadas. Se suman los tramos graficados, obteniéndose la única curva compuesta. La única fuente de agua se representa con una línea recta debajo de la curva compuesta, coincidiendo ambas en su origen. El punto de unión de las dos curvas se denomina punto *Pinch* y permite identificar el consumo y generación mínima de agua y residual respectivamente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación del *software Water Pinch* a una torre despojadora de aguas agrias, en el caso de estudio, requirió adaptaciones en sus enfoques. Los cambios se deben a que las aguas despojadas en la torre (salida), según Martín-Juvier (2008), representan las fuentes o sumideros (F), es decir admiten más carga de contaminantes. Por otra parte, las corrientes de agua que alimentan la torre despojadora, representan las demandas (D), pues tienen mayor carga de contaminantes (Tabla 1). En dicha tabla, se aprecia una recuperación de 76 228 kg/h de agua despojada, que representa el 98, 27 % del agua total de entrada. Un análisis integral requiere conocer el comportamiento de las corrientes según los intervalos de concentración de contaminantes, pues de ello depende la selección de los flujos que se pueden reutilizar.

Tabla 1. Corrientes de la curva compuesta de Fuentes y Demandas ordenadas en sentido creciente en función de la concentración. Fuente. Balance de masa del diseño.

<i>Corrientes</i>	<i>Concentración Contaminantes (ppm)</i>	<i>Flujo de agua (kg/h)</i>	<i>Carga de contaminantes (kg/h)</i>	<i>Flujo Acumulado (kg/h)</i>	<i>Carga Acumulada (kg/h)</i>
D1(UHTN)	7,96	7 450	59, 3	7 450	59,3
D2 (UDA)	9,99	9 162	91,6	16 612	150,9
D3 (UCC)	13,04	12 680	165,3	29 292	316,2

D4 (UDV)	14,31	14 490	207,3	43 782	523,5
D5 (URA)	14,72	16 000	235,5	59 782	759,0
D6 (UCR)	17,43	17 791	310,1	77 573	1 069,1
TOTAL		77 573	1 069,1		
F1(UHTN)	0,15	7 350	1,1	7 350	1,1
F2 (UDA)	0,18	9 137	1,6	16 487	2,7
F3 (UCC)	0,18	12 100	2,2	28 587	4,9
F4 (UDV)	0,22	14 275	3,1	42 862	8,0
F5 (URA)	0,28	15 859	4,4	58 721	12,4
F6 (UCR)	0,32	17 507	5,6	76 228	18,0
TOTAL	-	76 228	18,0	-	-

Leyenda:

Demandas: Corrientes de aguas contaminadas provenientes de las unidades de proceso

Fuentes: Corrientes de aguas despojadas de reuso hacia de las unidades de proceso

UHTN: Unidad de Hidrotratamiento de Naftas..... UDA: Unidad de Destilación Atmosférica

UCC: Unidad de Craqueo Catalítico..... UDV: Unidad de Destilación al Vacío

URA: Unidad de Recuperación de Azufre..... UCR: Unidad de Coquificación Retardada

Los requerimientos técnicos de los procesos que demandan dichas aguas despojadas determinan sus estándares de calidad, los volúmenes y flujos que se reutilizarán.

En el análisis se ordenaron las corrientes de Fuentes y Demandas en sentido creciente del criterio de concentración de contaminantes, según Savelski (2000) y se calcularon los flujos y cargas acumuladas, (Tabla 1). La información obtenida de las corrientes ordenadas en función de la concentración, se incorporó al *Software Water Pinch*, obteniendo el punto *Pinch* en un valor de 8 ppm, relacionado con la carga acumulada de 0,6 kg/h de contaminantes (Ver Figura 1).

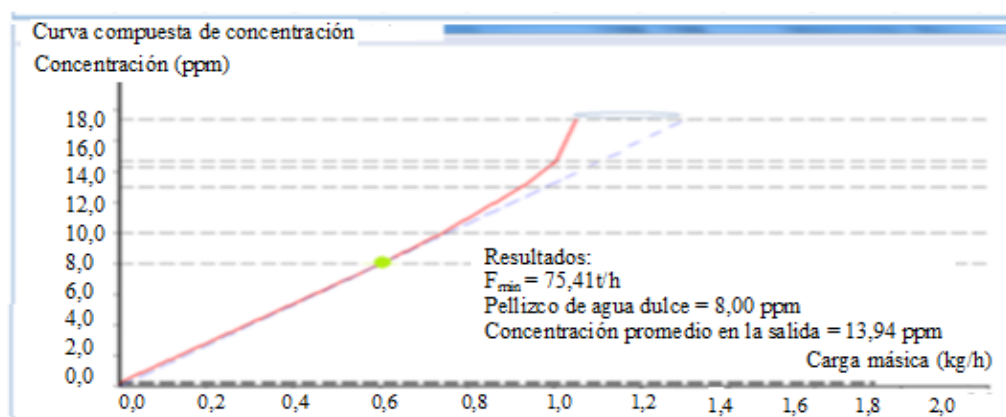


Figura 1. Diagrama de determinación del punto *Pinch*. Fuente: *Software Water Pinch*

Del análisis de la Figura 1 se puede concluir que:

- La concentración media de contaminantes es de 13,94 ppm y la concentración máxima permisible, según los resultados del software, se extiende hasta 17,40 ppm, esto permite, de forma óptima, la reutilización mínima de 75,41 t/h de agua despojada, que representa el 97,21 % del agua agria de entrada a la torre.
- Alrededor del punto *Pinch* y hasta la concentración media de 13,94 ppm, aparecen las aguas recuperadas en la despojadora, con una carga acumulada de 0,96 kg/h, que representan el flujo ideal que se puede reutilizar. A la derecha del punto *Pinch* y por

encima de 13,94 ppm, se localizan los residuales que aún se pueden recuperar hasta la concentración máxima permisible de 17,40 ppm, según el software, con una carga de 1,05 kg/h. Entonces el flujo para reutilizar sería de 60,40 t/h, que se refleja en la Figura 2. Para cada intervalo de concentración, el software identifica la carga acumulada y en correspondencia calcula los flujos que pueden reusarse.

- Sin embargo, según el criterio de expertos, es posible una reutilización adicional, pues algunos procesos tecnológicos, con requerimientos de calidad de agua menos exigentes, (ej: el lavado y desalado del crudo) pueden reutilizar las aguas cuya concentración esté comprendida entre 17,40 ppm y 18,00 ppm, (Figura 2).

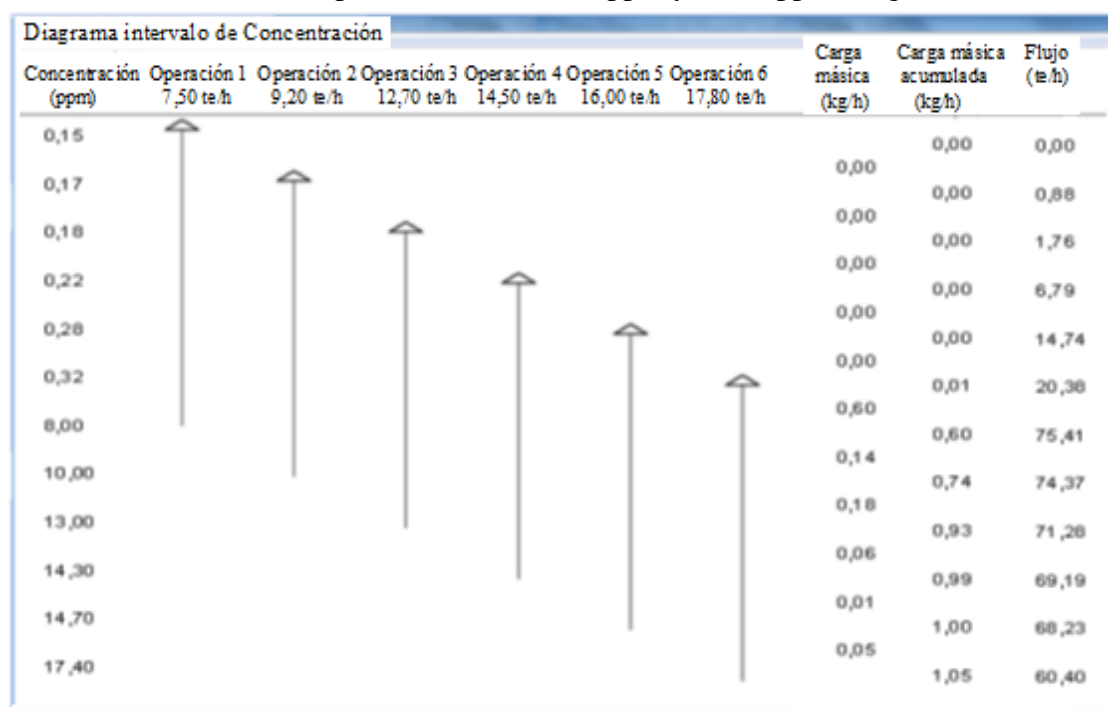


Figura 2. Intervalos de concentración entre fuentes y demandas. **Fuente.** Software *Water Pinch*

La información suministrada por el software por intervalos de concentración permitió establecer una nueva red optimizada de distribución de agua recuperada (Figura 3), donde se simplifican las operaciones realizadas, según los intervalos de concentración y los flujos de las mismas y que refleja las oportunidades de reutilización de agua y la reducción de los efluentes, a partir del análisis de la red inicial de distribución de agua recuperada.

La posible reutilización antes señalada, conlleva un flujo de 76 228 kg/h, es decir 98, 27 % de recuperación, por lo que coincide con en el balance de masa de la Tabla 1. Esta reutilización, para un año de trabajo de la torre despojadora, supone una recuperación anual de 667 757, 28 m³ de agua, equivalente a un ahorro de 1 035 023, 78 CUC, a razón de 1,55 CUC/m³ de agua.

Para alcanzar otra recuperación adicional, que podría estar en el 1,73 % restante de residuales (señalado por encima de la línea de 18,00 ppm) conllevaría cambios en los parámetros operacionales de la torre, por lo que no es aconsejable.

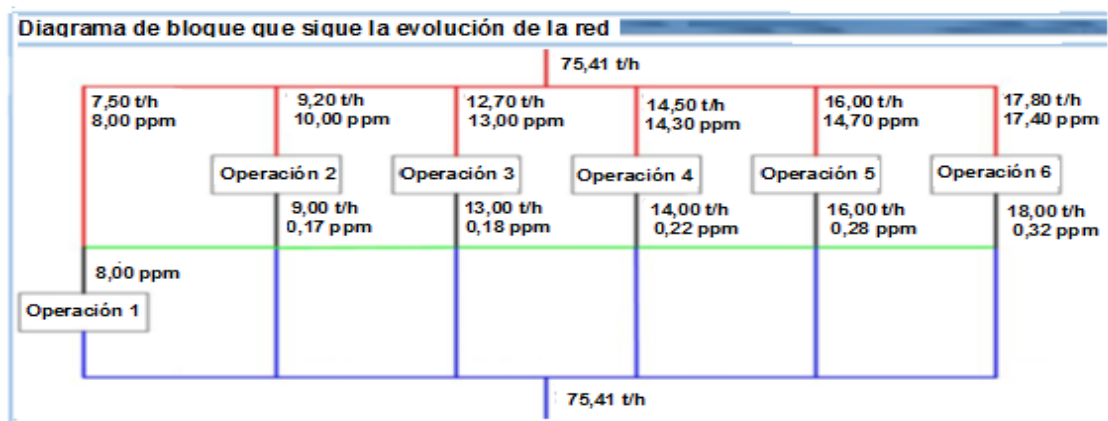


Figura 3. Diagrama optimizado de la red de distribución de agua recuperada

4. CONCLUSIONES

1. La aplicación del método *Water Pinch* para el análisis técnico inicial permitió identificar las mayores posibilidades de reutilización del agua técnica para proceso, basado en los diferentes niveles de concentración de contaminantes, que permitió hacer una propuesta de red de distribución optimizada.
2. El Software *Water Pinch* aplicado a una torre despojadora de aguas agrias, según el análisis de los intervalos de concentración de contaminantes, permitió la recuperación y reutilización de 667 757,28 m³ de agua anualmente, es decir, el 98,27 % del agua tratada, ahorrándose 1 035 023,78 CUC en costos de producción de la refinería.

REFERENCIAS

- Alva-Argáez, A., The design of water using systems in petroleum refining using a water pinch decomposition., *Che. Eng. Journal*, Vol. 128, No. 1, 2007, pp. 33–46.
- Byers, W., Glen, L., Calvin, N., *The Waste Minimization Opportunity Assessment Manual.*, Technology & Engineering, 625/7, Jacobs Engineering, Inc. California, U.S. Environmental Protection Agency (EPA), 2010, pp. 12- 24.
- CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente)., Resolución 132/2009, Reglamento del proceso de evaluación de impacto ambiental, La Habana, Cuba, 2009, pp. 1279-1288.
- Lobelles, G.O., López, E.J., Pedraza, J. y Peralta. L.M., Metodología con enfoque de economía ecológica para la gestión integral de aguas sulfurosas en una refinería de petróleo., *Centro Azúcar*, Vol. 43, No. 4, 2016, pp. 50-62.
- Martín-Juvier, L., Reducción del consumo de agua limpia en la empresa de producción de productos sanitarios PROSA. S.A, mediante la aplicación del método de integración de procesos *Water Pinch.*, Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, 2008.
- Savelski, M., On the optimality conditions of water utilization systems in process plants with single contaminants., *Chemical Engineering Science*, Vol. 55, No. 21, 2000, pp. 035–5048.