

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

Gabriel Orlando Lobelles Sardiñas^{1}, Eduardo Julio López Bastida²,
Julio Pedraza Gárciga³ y Leidis Debora Mira¹*

¹ Refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos". Finca La Carolina. Cienfuegos, Cuba.

² Centro de Estudios de Energía y Medio Ambiente. Universidad de Cienfuegos Carlos Rafael Rodríguez. Cuatro Caminos Carretera a Rodas, km 3 ½, Cienfuegos, Cuba.

³ Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Química y Farmacia. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Carretera a Camajuaní km 5 ½, Santa Clara, Villa Clara, Cuba

Recibido: Junio 14, 2016; Revisado: Julio 4, 2016; Aceptado: Septiembre 5, 2016

RESUMEN

El elevado consumo de agua en la refinación de petróleo impacta los costos de producción y el medio ambiente debido al vertimiento de sus residuales. Es conocido que en los esquemas de refinación que se basan en el Hidrotratamiento, no existen condiciones tecnológicas que permitan reutilizar las aguas industriales. El objetivo del presente estudio es aplicar la metodología de integración de procesos, Water Pinch a una unidad despojadora de aguas agrias como proceso unitario de una refinería de petróleo, para minimizar la cantidad de aguas residuales sulfurosas y disminuir la contaminación de la bahía que recibe estos residuales. La misma se aplica para evaluar el volumen de aguas residuales sulfurosas generadas en la refinería de petróleo de Cienfuegos. 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 la torre despojadora de aguas agrias

Copyright © 2017. 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: Gabriel O. Lobelles, Email: globelles@cuenpetrol.cu

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, y se ahorró 1 035 023,78 CUC, al mismo tiempo se disminuyó la cantidad de efluentes contaminantes en aproximadamente el 2 % del agua tratada no reutilizable.

Palabras claves: agua residual, impacto ambiental, metodología, reutilización

ABSTRACT

In oil refining industries there is a high water consumption, which influences the high production costs and impacts the environment due to the discharge of their wastes. It is known that there are no technological conditions for the reuse of industrial water at the oil refineries, based on hydroskimming processes. The objective of this study is to implement the process integration methodology, Water Pinch, to a sour water stripper unit, as a unitary process of an oil refinery, to minimize the amount of sulphurous waste water and reduce contamination of the bay that receives these wastes. The technology is applied to evaluate the volume of sulphurous wastewater generated in the Cienfuegos oil refinery. This technology allows identifying opportunities for recovery and reuse of water, based on concentration ranges of contaminants. To achieve this purpose, a sour water stripper tower was assessed with the help of Water Pinch software, which provided an optimized distribution network, as a proposed technological improvement. This facilitated to recover and reuse 667 757, 28 m³ of water per year, and 1 035 023, 78 CUC were saved, at the same time the amount of polluting effluents decreased in approximately 2 % of non-reusable treated water.

Keywords: wastewater, environmental impact, methodology, reuses

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, 2009), el 25 % de las reservas de agua dulce del planeta se consume en los procesos industriales cuyos residuales contaminan severamente las fuentes de abasto. Para contrarrestar este tipo de impactos se han desarrollado nuevas tecnologías para la descontaminación de los residuales, partiendo de factores fundamentales como la naturaleza y las propiedades físico-químicas del sistema Fareso.S.A (2004), la factibilidad de la reutilización (Forero y col., 2013), la economía y la eficiencia de los procesos (Martínez y López, 2013).

En los últimos años, la efectividad de esos procesos se ha visto seriamente limitada principalmente debido a restricciones ambientales cada vez más severas CITMA (Resolución 132, 2009); CITMA (Resolución 136, 2009); Gaceta Oficial (Decreto Ley 309, 2013) y, pese a los esfuerzos realizados en aras de cumplir con esas restricciones, aún persisten problemas como:

- La implementación de nuevas unidades de proceso incrementa el consumo de agua potable generando mayor cantidad de residuales.
- No se cuenta con una tecnología para tratar los residuales y posibilitar su reutilización

- La tendencia al aumento de los precios del agua y de la energía.

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 (Dunn y Wensel, 2001); Bagajewicz (2000). De acuerdo con Savelski (2000) y (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. Para ello, existen técnicas que integran los conceptos antes mencionados.

Esta investigación tiene como objetivo aplicar una de estas tecnologías, conocida comercialmente como Water Pinch (Dhole, 2000) para minimizar las aguas residuales sulfurosas de una refinería de petróleo y, disminuir la contaminación de la bahía.

La tecnología antes señalada será aplicada a una torre despojadora de aguas agrias como proceso unitario de la refinería y como material de estudio se asume el agua residual sulfurosa.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo con el informe BREF (2013) de la Comisión Europea, en las refinerías de petróleo, por cada millón de toneladas de crudo refinado se generan entre 0,1 – 5 millones de toneladas de agua residual. La elección de la refinería de petróleo de Cienfuegos como objeto de estudio radica en la gran generación de residuales y alto consumo de agua ($975\ 475\ \text{m}^3/\text{año}$) propio de estas industrias. El producto seleccionado para el estudio es el agua residual sulfurosa, que se contamina con H_2S presente en la materia prima de la refinería. 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 utiliza avanzados algoritmos para identificar las mejores opciones de reutilización, redistribución y tratamiento de efluentes. La misma se compone de tres estrategias (Wang y Smith, 1994); (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. Se elige el diseño de concentraciones máximas permisibles para las demandas y el mínimo práctico para las fuentes. Esto requiere la colaboración de expertos en las tecnologías pertinentes.
 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 de proceso.
- Cambios en el proceso: Modificar la red de agua técnica existente para maximizar su reutilización y minimizar la generación de residual.

Existen diferentes formas de desarrollar la metodología Water Pinch en una industria, entre ellas el Perfil límite de agua establecido por Uneptie.org (1998), que será empleado en este estudio. Este es un método gráfico que propone una sola fuente de agua. El racionamiento consiste en 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, en el caso de estudio) y las corrientes que, por necesidades del proceso, necesiten deshacerse de las cargas contaminantes (demandas, en el caso de estudio).

Después de caracterizar las corrientes, se calculan las cantidades de carga contaminante que se transfiere de la corriente de demanda a la corriente fuente. Estos datos permiten representar gráficamente todos los valores de masa transferida. Los ejes del gráfico 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.

La aplicación de la metodología de integración de procesos mediante el 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), ya liberadas de sus contaminantes, según Martín-Juvier (2008), representan las fuentes o sumideros, es decir admiten más carga de contaminantes. En consecuencia representan las mayores oportunidades de ahorro de agua técnica, siempre que sean reusadas para proceso en magnitud equivalente a las aguas que se dejan de importar desde las fuentes de abasto. Por otra parte, de acuerdo con Martín-Juvier (2008), las corrientes de agua que alimentan la torre despojadora, representan las demandas, pues constituyen las aguas residuales de los demás procesos y tienen la mayor carga de contaminantes. Por ello, en la Tabla 1 las aguas despojadas aparecen como corrientes de fuentes (F) y las corrientes de entrada del proceso aparecen como corrientes de demandas (D).

Los valores adoptados en el estudio acerca de los flujos y concentraciones de contaminantes que se utilizan en el mismo, se muestran en la Tabla 1 y corresponden a lo reportado por Technip S.p.A (2014) del balance de materiales para el diseño de la torre despojadora de aguas agrias.

Tabla 1. Corrientes de la curva compuesta de Fuentes y Demandas ordenadas en sentido creciente en función de la concentración.

<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</i>	<i>Carga Acumulada</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

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores mostrados en la Tabla 1 corresponden al balance de materiales de las corrientes de entrada (demanda) y salida (fuente) de la torre despojadora de aguas. En ella 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. 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 la metodología de cálculo de Unepdtie.org (1998), 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).

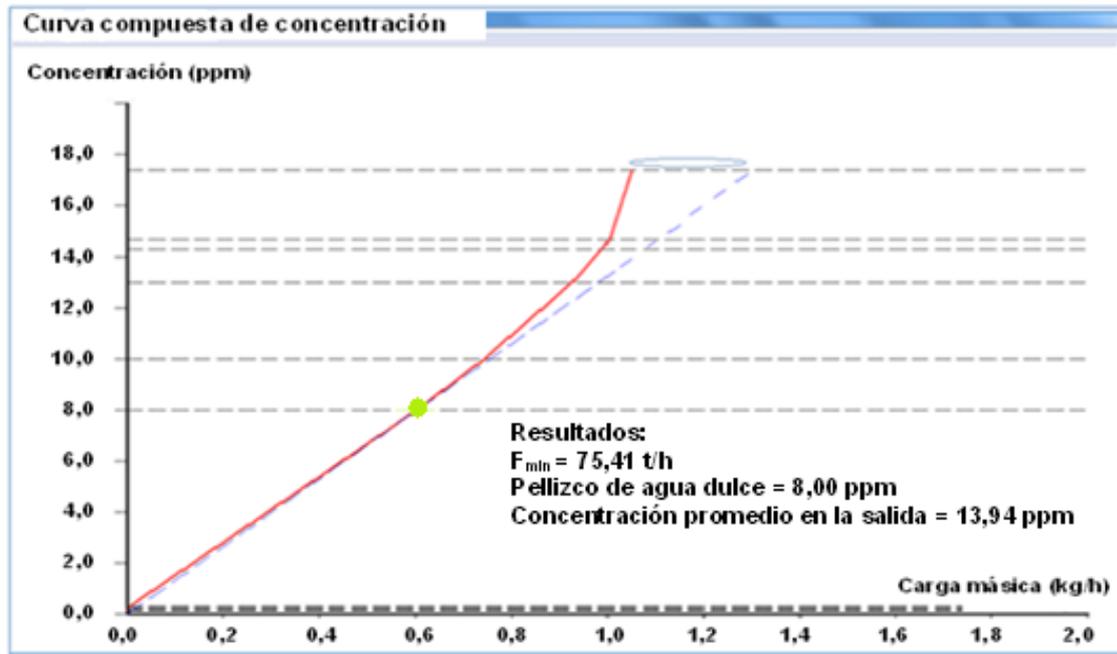


Figura 1. Diagrama de determinación del punto Pinch. Fuente: Software Water Pinch.

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).

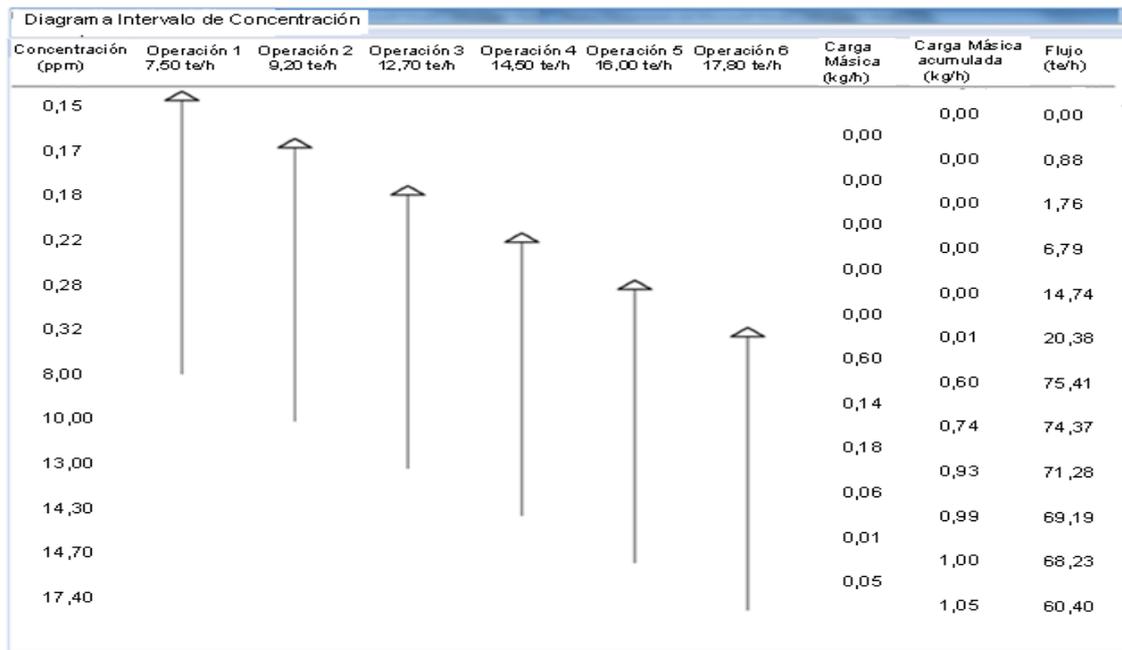


Figura 2. Intervalos de concentración entre fuentes y demandas.

Fuente: Software Water Pinch.

Como conclusión de la aplicación de esta herramienta se puede afirmar que la información suministrada por el software por intervalos de concentración permite establecer una nueva red optimizada de distribución de agua recuperada (Figura 3), 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 mostrada en la Figura 4.

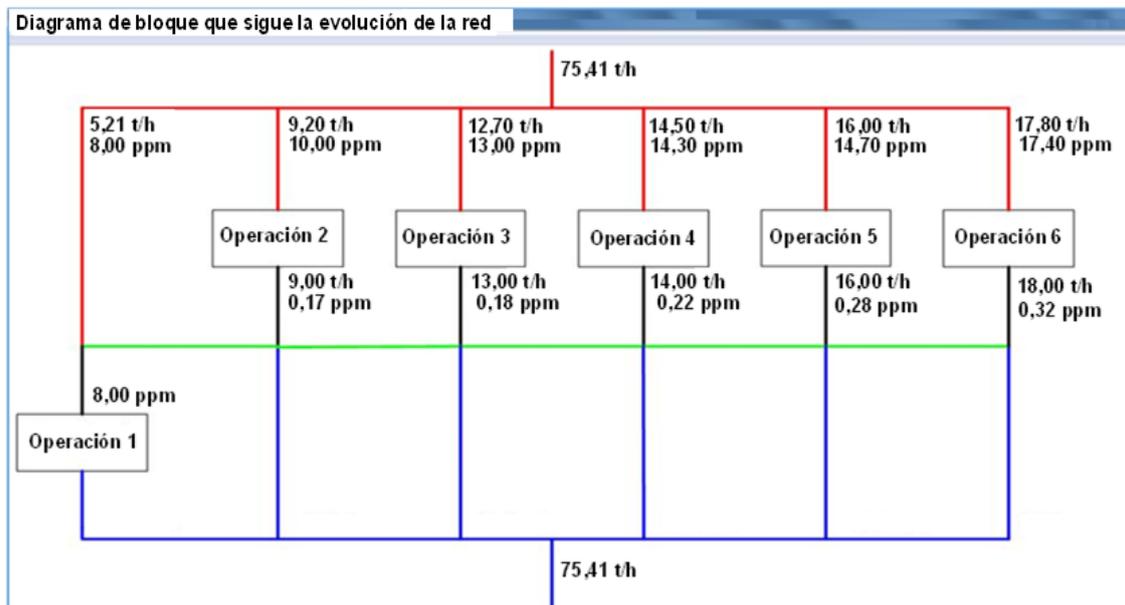


Figura 3. Diagrama optimizado de la red de distribución de agua recuperada

En la Figura 3 se puede observar la red de distribución simplificada (optimizada), con la distribución de los flujos óptimos que pueden ser reusados por las corrientes y se simplifican las operaciones realizadas, según los intervalos de concentración y los flujos de las mismas.

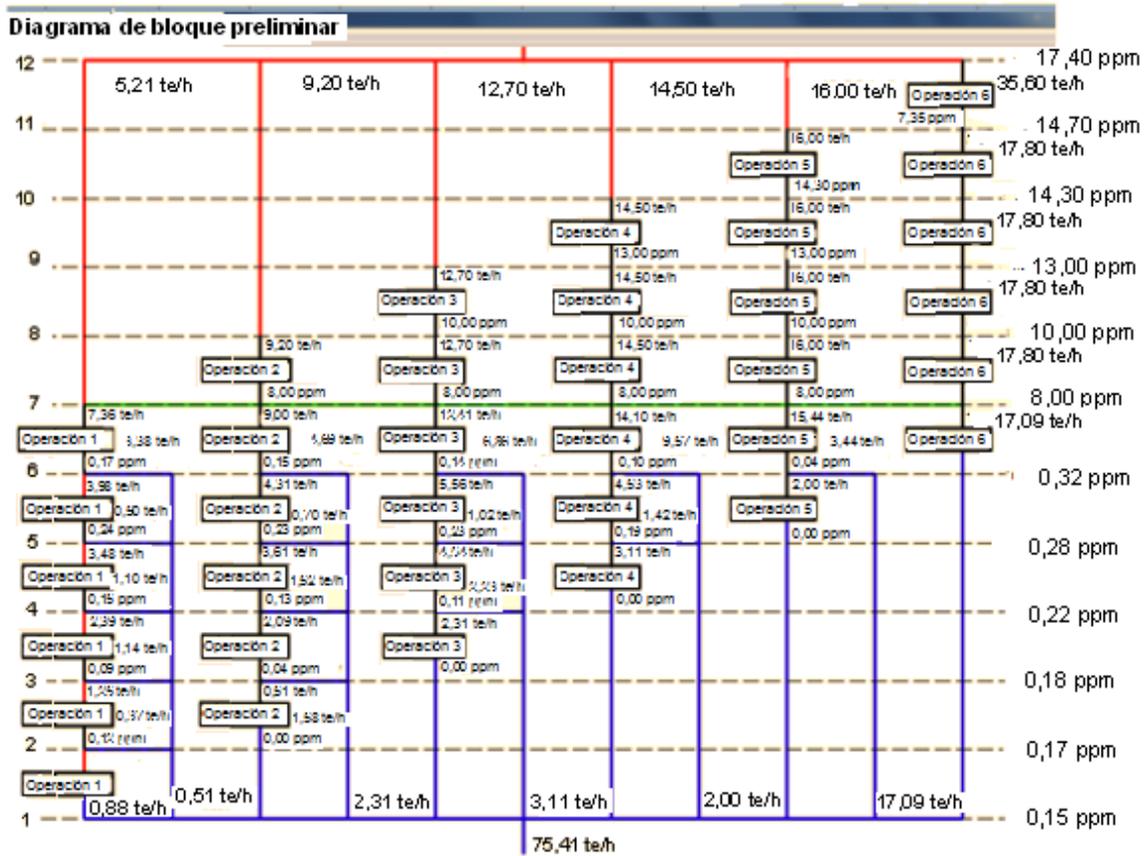


Figura 4. Diagrama inicial de la red de distribución de agua recuperada.

Fuente: Software Water Pinch.

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 materiales 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.

Por consiguiente, para alcanzar otra recuperación adicional, que podría estar en el 1,73 % restante de residuales (lado derecho del punto Pinch y 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.

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.

3. La red optimizada de distribución de agua obtenida para la unidad despojadora de aguas agrias de la refinería de petróleo con el uso de la metodología del Software Water Pinch, redujo aproximadamente al 2 % las emanaciones de aguas residuales sulfurosas tratadas que no podrán ser reutilizadas.

REFERENCIAS

- Alva-Argáez, A., The design of waterusing systems in petroleum refining using a water-pinch decomposition. s.l. : Chemical Engineering Journal.Vol. 128, No. 1, 2007, pp. 33–46.
- Bagajewicz, M., A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants., Computers & Chemical Engineering, Vol. 24, Vol. 9–10, 2000, pp. 2093–2113.
- BREF. Best available techniques Reference document (Documento de Referencia sobre Mejores Técnicas Disponibles)., Executive Summary - Refineries. s.l.: IPPC. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau, 2013, pp. 2-3.
- Byers, W., Glen, L., Calvin, N., The Waste Minimization Opportunity Assessment Manual. Technology & Engineering, 625/7, Prepared by: Jacobs Engineering, Inc. Pasadena, 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.
- CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente), Resolución 136/2009, Reglamento para el manejo integral de desechos peligrosos, La Habana, Cuba.
- Gaceta Oficial, Decreto Ley No. 309/2013 de la seguridad química. Edición ordinaria., 2013.
- Dhole, V.R., La tecnología Water Pinch, pendiente de nuevo: a Linnhoff de March Ltd. GB 95005229., Reino Unido, 2000, Disponible en: http://webworld.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr3/index_es.shtml
- Dunn, R., and Wensel, H., Process Integration Design methods for water conservation and wastewater reduction in industry., Clean Productions Processes, Vol. 3, 2001, pp. 307-318.
- Fareso, S.A., Guía de mejores técnicas disponibles en España del sector de refino de petróleo (Guía Ambiental), Sevilla, España, Ministerio de Medio Ambiente., Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, 2004, pp. 258-259.
- Forero, G.J., Aplicación de procesos de oxidación avanzada como tratamiento de fenol en aguas residuales industriales de refinería (primero)., Consejo de Estado, La Habana, Cuba, 2013, pp. 10-22.
- 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 académico de Ingeniero Químico en la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, 2008.
- Martínez, E., y López G., Proceso Fenton intensificado para la destrucción de contaminantes orgánicos., 18° Congreso Argentino de Saneamiento y Medio Ambiente. Buenos Aires, 18-20 abril, AIDIS Argentina, 2013.

- 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. 5035–5048.
- Technip S.p.A., Engineering & Contacting Solutions. Italian Sulphur Technology Provider. Heat & Materials Balance for the Sour Water Stripper Unit, The Cienfuegos's oil refinery Expansion Project, 2014.
- Unep.org. Coastal Waters of the World: Trends, Threats and Strategies. Washington, D.C: Island Press, 1998. Disponible en: http://www.unep.org/outreach/wssd/docs/TM/tm_notes_and_resources.pdf., 1998.
- Wang, YP. and Smith, R., Wastewater minimization., Chem. Eng. Science, Vol. 49, No. 7, 1994, pp. 981-1006.
- WWAP., Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos., Tercera edición del Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo: El agua en un mundo en cambio, 5º Foro Mundial del Agua, Estambul, Turquía, 16 de marzo de 2009, pp. 96-123.