



Ahorro de energía en Refinería La Plata utilizando tecnología *pinch*

Por Silvia Toccaceli y Mariel Fernández (YPF S.A.),
David Whittaker y Alison Eccleston (Linnhoff March Limited)
y Marcela Brina (Soteica SRL)



Desde su privatización YPF S.A. viene desarrollando un ambicioso programa de mejora de sus refinerías. En este sentido, se han realizado una serie de estudios en la Refinería La Plata orientados a la optimización del sistema de servicios auxiliares y al ahorro de energía utilizando la tecnología *pinch*.

En una primera etapa se realizó un Estudio del Sitio Completo que permitió desarrollar un modelo del uso de la energía en toda la instalación que indicaba dónde podía mejorarse la recuperación energética y dónde el sistema de servicios auxiliares no era el adecuado para los requerimientos del proceso. Se detectó un potencial de ahorro de energía de un 25% de los consumos actuales.

Luego se analizaron en mayor detalle las seis unidades de proceso que mostraban el mayor potencial para los ahorros y se profundizó el estudio del sistema de servicios auxiliares, desarrollándose proyectos que logran el grueso de los ahorros previstos con un período de repago relativamente bajo.

El estudio "Ahorro de energía en Refinería La Plata utilizando tecnología *pinch*" describe las distintas etapas del análisis en las unidades identificadas.

Este trabajo recibió la máxima distinción, el Premio Ing. Raúl Mucci al mejor trabajo sobre uso racional de la energía presentado en el 1er Congreso Latinoamericano de Refinación realizado en Buenos Aires el pasado mes de octubre.

Como parte del proceso de transformación de YPF S.A. a partir de 1991, se llevó a cabo en la empresa una política integral agresiva, tendiente a lograr un aumento en la confiabilidad de sus productos, asegurando su calidad. Para ello, se implementaron distintas medidas orientadas a dar a sus Refinerías una configuración flexible y rentable, maximizándose el margen neto.

En la Refinería La Plata, la reestructuración tendió a optimizar las grandes Unidades como *Topping C* y *D*, FCCU *A* y *B*, Coque *B*, etc, y a incorporar nuevos tratamientos como la Unidad hidrotreatadora de nafta de coque y la Unidad de isomerización. Estas últimas afectan el *pool* de nafta incrementando su calidad, ambas están propuestas para estar en marcha en 1996. También, con la finalidad de proteger el medio ambiente y a las comunidades aledañas, se encaró la mejora de la calidad del aire con obras como: endulzamiento de gases residuales, recuperación de gases a chimenea, instalación de *scrubbers* en las Unidades de FCCU *A* y *B*, y a tratar íntegramente los efluentes líquidos contaminados de la planta con su

Nueva unidad de tratamiento de aguas, que purifica las aguas de proceso hasta una concentración de 1 ppm de sólidos, pudiendo luego ser recicladas al sistema de agua industrial.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Como parte de esta transformación y con la finalidad de bajar los índices de consumo energético de la refinería a valores internacionales, según los objetivos de la corporación de producir con costos competitivos en el orden internacional, se contrató a la empresa Soteica-Linnhoff-March para llevar a cabo la integración energética de la Refinería La Plata.

El objetivo principal del estudio fue la disminución de los índices energéticos de la Refinería a estándares internacionales mediante:

- Recuperación calórica de las corrientes de proceso.
- Optimización del sistema de servicios auxiliares.

Para la realización de este proyecto, se conformó un *team* de trabajo integrado por personal del Centro de Tecnología Aplicada, y de las áreas técnicas y opera-

tivas de la refinería, para su coordinación e implementación.

El estudio está compuesto por dos etapas:

FASE 1:

- Análisis energético global de la refinería identificando las unidades con mayor potencial de ahorro.
- Modelización del sistema de vapor existente.

FASE 2:

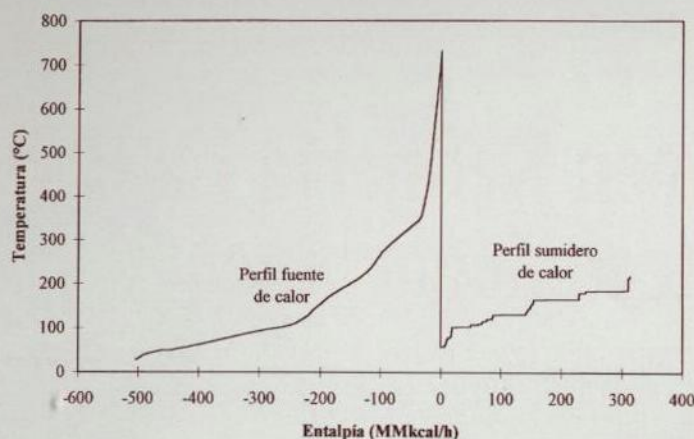
- Aplicación de la tecnología *Pinch* a las unidades identificadas.
- Selección de los proyectos más viables, compatibilizando mayor ahorro energético versus inversión.
- Optimización del sistema de vapor.

METODO EMPLEADO

Para el análisis energético de la totalidad de un sitio de producción se aconseja utilizar una metodología de trabajo en etapas.

Linnhoff March ha detectado a través de su larga experiencia obtenida a partir de un importante número de estudios similares realizados en varias partes del mundo, que es posible obtener ahorros

**Figura 1 - Perfil Fuente-Sumidero del Sitio
(Proceso)**



significativos de energía mejorando el sistema de servicios auxiliares de una locación y adecuándolo mejor a los requerimientos de proceso.

Por lo tanto, aun cuando el objetivo principal del análisis es la mejora de los procesos individuales, es útil comenzar con un Estudio Preliminar de Sitio Completo (*Total SiteTM*). Esto da la primera indicación de los ahorros potenciales que pueden esperarse en cada una de las plantas individuales, de manera de concentrar los esfuerzos de la manera más efectiva.

El Estudio Preliminar de Sitio Completo puede tomar desde una semana hasta dos meses de trabajo en el lugar, dependiendo de la complejidad del sitio y del detalle requerido. Es usual basar este primer estudio en los datos disponibles para minimizar el esfuerzo de recolección de datos hasta no identificar las áreas de mayor importancia.

En el caso de YPF-Refinería La Plata, sin embargo, se vio como beneficio adicional el desarrollo de balances de masa y energía y modelos de simulación para algunas de las unidades de proceso, por lo tanto se puso un mayor esfuerzo en esta parte del estudio.

Los balances de masa y energía de las unidades de proceso principales fueron realizados por simulación en base a datos de *test run*. Para las unidades de proceso menores se consideraron los datos extraídos de los manuales de diseño.

El procedimiento seguido para realizar el Estudio de Sitio Completo de la Refinería La Plata fue el siguiente:

1. Cálculo del balance de calor para cada unidad de proceso basado en los datos disponibles.
2. Realización del Análisis Pinch (*Pinch AnalysisTM*) de cada unidad para identificar el potencial de ahorros y los requerimientos de servicios auxiliares resultantes, o sea los objetivos energéti-

cos (*energy targets*), en términos de cantidad de energía y niveles de temperatura requeridos.

Los resultados obtenidos en esta parte del análisis se muestran en la Tabla 1.

3. Recopilación de datos de otros consumidores de energía no incluidos dentro de los procesos (ej. vapor para antorchas, calefacción de tanques de almacenamiento) y reconciliación de los datos con los registros de consumo de combustibles.
4. Combinación de los datos de los objetivos energéticos de proceso y de los demás consumidores de energía para producir un perfil de la futura demanda de energía y de la disponibilidad del calor perdido de proceso.

Esto se conoce como el Perfil Fuente-Sumidero del Sitio (*Site Source-Sink Profile*) (Ver Figura 1).

Este diagrama provee la siguiente información:

- La cantidad total de energía requerida en el sitio.
- La temperatura a la cual dicha energía es requerida.
- La cantidad y la temperatura del exceso de calor disponible en el sitio.

El Perfil Fuente-Sumidero del Sitio se utiliza para juzgar si los niveles existentes de servicios auxiliares son los apropiados para las demandas. Se puede cuantificar el beneficio de cambiar los niveles existentes o agregar nuevos niveles relacionando las áreas del diagrama directamente al potencial de generación de energía.

La Figura 2 muestra los niveles de vapor existentes en la refinería incluidos dentro del perfil. El requerimiento de vapor indicado por estas curvas (la sección derecha del perfil) es menor que el consumo actual debido a los ahorros potenciales identificados en las plantas individuales, y el potencial de generación de vapor es mayor de lo que actualmente se está logrando. Si dichos ahorros fueran hechos realidad, podrían ahorrarse más de \$8 MM (ocho millones) por año en combustible a calderas.

Podemos observar además que los niveles de vapor no están adecuadamente ubicados con respecto a lo requerido por los procesos.

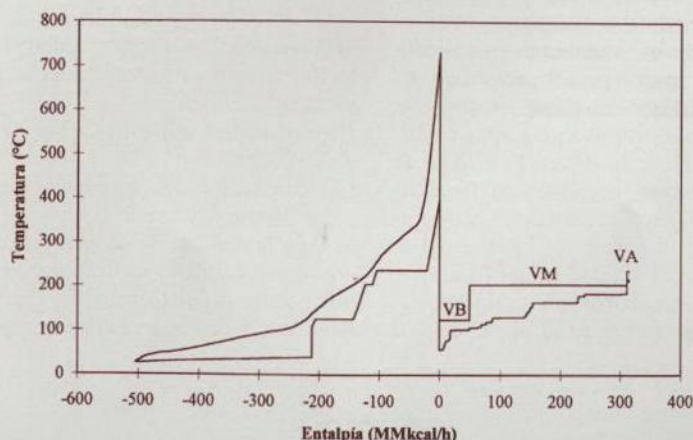
En particular, el vapor de media presión (VM) está siendo usado en servicios donde podría utilizarse vapor de baja presión (VB) o vapor de una presión cercana al nivel existente de baja presión.

La Figura 3 muestra el perfil con un nuevo nivel de vapor a una presión intermedia (VI) de 5 bar que toma parte de la demanda de VM. La energía eléctrica que puede generarse expandiendo el VM a VI más el VI generado se valúan en \$4 MM (cuatro millones) por año.

Los ahorros de combustible potenciales se calcularon a partir de los objetivos de demanda de vapor utilizando una simulación simplificada del sistema de vapor.

Esto permitió observar las restriccio-

**Figura 2 - Perfil Fuente-Sumidero del Sitio
(Proceso y servicios auxiliares)**



nes más importantes del sistema de vapor, resaltar los "cuellos de botella" y evaluar otras oportunidades, tal como la recuperación de calor de proceso para precalentamiento de agua de alimentación a calderas.

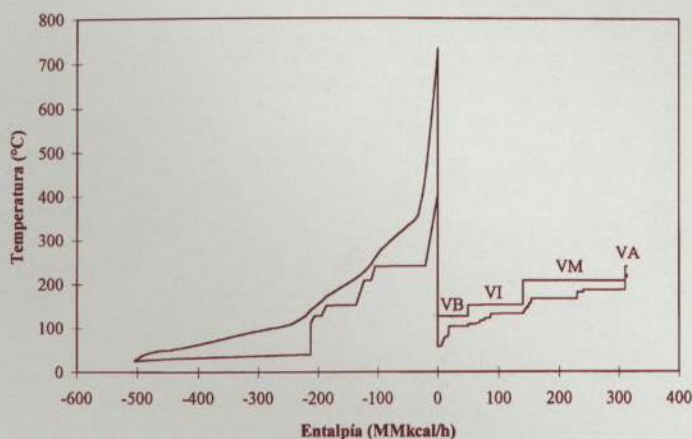
Se encontró que los ahorros potenciales totales serían de alrededor de \$22 MM (veintidós millones) por año repartidos prácticamente en partes iguales entre: ahorro de combustible en las unidades, ahorro de vapor (incluyendo un aumento en la generación de vapor) en las unidades y mejoras en el sistema de vapor (por ejemplo, agregado de un nivel intermedio de presión y precalentamiento de agua a calderas).

Estos ahorros reducirían el índice energético (*Energy Intensity Index* o *EII*) de la refinería en un 25%.

Estos ahorros representan un objetivo para la recuperación de energía en el futuro y para mejoras del sistema de servicios auxiliares. YPF estuvo interesado en implementar rápidamente proyectos que alcanzarán parte de estos ahorros. Por lo tanto se llevó a cabo un Análisis Pinch más detallado en las unidades que ofrecían el mayor potencial. El objeto fue identificar los proyectos que en conjunto lograsen tanto como fuera posible de los ahorros potenciales y formular una estrategia para su implementación en etapas futuras.

Las unidades que se estudiaron con mayor detalle fueron dos unidades de destilación de crudo (UDC), dos *cracking catalíticos* (FCCU), un *unifining/platforming* (U/P) y una unidad de desasfaltado con propano (PDA). También se analizó el sistema de vapor en mayor detalle para encontrar los proyectos más importantes que permitieran mejorar el sistema de servicios auxiliares.

Figura 3 - Perfil Fuente-Sumidero del Sitio con un nuevo nivel de vapor (Proceso y servicios auxiliares)



Dada la naturaleza de las plantas y los planes de desarrollo previstos para la refinería se dieron dos enfoques diferentes para el estudio de los proyectos:

Eliminación de "cuellos de botella" de una unidad de destilación de crudo (UDC)

Antes de que se comenzara con el análisis detallado de las unidades, se desarrolló un nuevo plan de producción para la refinería. Este requería que una de las UDC aumentara su capacidad en un 25%. Esto cambió el punto a enfatizar en el estudio de la misma, aunque se usaron las mismas técnicas.

Se simuló el tren de precalentamiento de la planta con las condiciones de operación actuales. Se hizo un *rating* de todos los intercambiadores para calcular las resistencias de ensuciamiento reales y se resimuló el tren de precalentamiento para las nuevas condiciones. La simulación del tren de precalentamiento de crudo para la carga futura de la unidad indicaba que el crudo podría precalentarse hasta 223°C con los equipos existentes, lo que requería que el horno entregase un calor absor-

bido de 74 MMkcal/h para llevar la alimentación hasta las condiciones operativas deseadas. Sin embargo, la capacidad del horno existente era sólo de 62 MMkcal/h, por lo tanto, para evitar realizar modificaciones importantes en el horno se debía aumentar el precalentamiento de la alimentación en 12 MMkcal/h. Este es el mínimo requerimiento de recuperación de calor que se debía alcanzar para lograr el aumento deseado de carga, pero se consideraron además otros proyectos que permitieran un ahorro de combustible adicional en el horno.

Las curvas compuestas (*composite curves*) son una de las herramientas principales del Análisis Pinch y muestran todas las cargas de calor requeridas para el calentamiento y el enfriamiento dentro de un proceso en un solo gráfico.

La Figura 4 muestra la curva compuesta de la UDC para el aumento de carga con la performance del tren de precalentamiento de crudo obtenida por simulación. La diferencia de entalpía entre la parte superior de la curva compuesta caliente y la parte superior de la curva compuesta fría es el calor requerido en el horno, 74 MMkcal/h. La diferencia de temperatura mínima ($DT_{\text{mínima}}$) entre las curvas compuestas fría y caliente es de 94°C.

Para reducir la demanda de calor a 62 MMkcal/h, se debe aumentar la recuperación de calor de corrientes calientes a corrientes frías. Esto se representa en las curvas compuestas moviendo la curva compuesta caliente horizontalmente hacia la derecha, reduciendo la diferencia de entalpía, pero reduciendo también la fuerza impulsora de temperatura entre las corrientes frías y calientes (Figura 5).

La diferencia de temperatura mínima es ahora de 55°C. El aumento en la recuperación de calor y la reducción de la fuerza impulsora significan que se requie-

Figura 4 - Curvas compuestas (temperaturas reales)

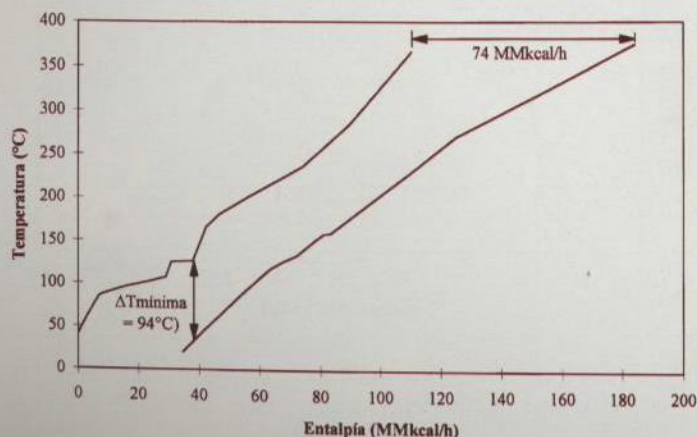
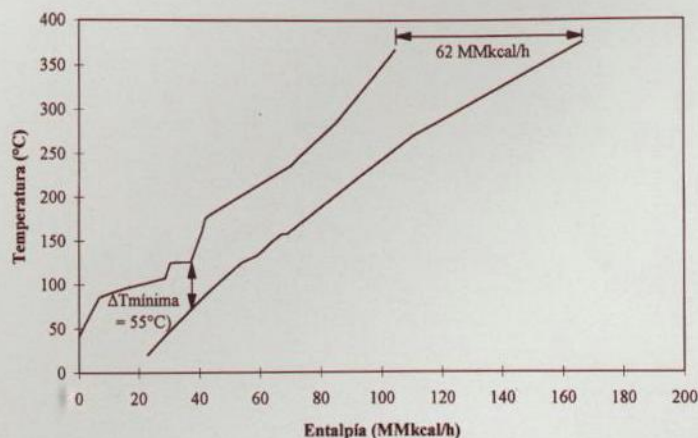


Figura 5 - Curvas compuestas (temperaturas reales)



rirá área adicional de intercambio.

Sin embargo, hay muchas alternativas para la recuperación de energía, por ejemplo, ¿debe considerarse la recuperación del calor de la corriente del tope de la fraccionadora? También hay otras modificaciones que pueden realizarse al proceso y que pueden facilitar la recuperación de calor requerida, tales como la instalación de un nuevo reflujo circulante.

Con el enfoque tradicional, todas estas modificaciones podrían simularse para ver que efecto tienen en la planta, pero su impacto en la recuperación de calor sólo podrá ser evaluado luego de que se haya especificado una nueva red de intercambio.

La ventaja de utilizar las curvas compuestas es que estas se utilizan para evaluar las modificaciones de proceso **antes** de rediseñar el sistema de recuperación de calor. De esta manera se simplifica y acelera el proceso de diseño.

El impacto energético de los cambios puede ser evaluado rápidamente por simples cambios en las curvas compuestas. Por ejemplo, eliminar los datos correspondientes al vapor de tope de la fraccionadora no tiene ningún impacto en la región de superposición de las curvas, en donde se requiere la recuperación de calor. Esto indica que el objetivo de 12 MMkcal/h de calor extra puede lograrse sin utilizar esta corriente.

Las curvas compuestas pueden modificarse para representar un nuevo reflujo circulante (RC) en la columna, como lo muestra la Figura 6. La recuperación de calor requiere el mismo acercamiento de las curvas en la parte superior pero las fuerzas impulsoras a través de la red de intercambio se aumentan, por lo tanto se requerirá menos área en los intercambiadores.

Este beneficio puede cuantificarse estimando el impacto en el requerimiento total de área de la red. Esto se realiza de

forma similar al cálculo de área de un intercambiador simple (Figura 7). El impacto en el área de intercambio puede relacionarse al costo de los intercambiadores usando correlaciones simples, de manera de realizar un análisis económico preliminar de alternativas antes de realizar el diseño detallado. Esta técnica también se usa para predecir el costo de la remodelación de la red de intercambio antes de diseñarla.

Como conclusión del estudio se observó que la recuperación de calor adicional podría lograrse aumentando la recuperación de calor de las corrientes existentes y que sólo debería instalarse un nuevo reflujo circulante a largo plazo para lograr mayores ahorros de energía en el futuro.

Las técnicas de diseño *Pinch* se utilizaron entonces para identificar la ubicación óptima de los nuevos intercambiadores, de manera de hacer un mejor uso del área existente y por lo tanto minimizar el

requerimiento de nueva área.

El diseño final de la red que ha sido desarrollado en detalle (incluyendo modificación del *lay out* para acomodar los equipos nuevos y reubicar algunos existentes, modificación de los diagramas de cañerías e instrumentos, diseño de cañerías y planos constructivos de los intercambiadores) está próximo a implementarse e involucra cuatro intercambiadores nuevos y carcazas adicionales en otros dos intercambiadores.

El proyecto de eliminación de "cuellos de botella" reduce el EII de la Planta en 20% y la recuperación adicional futura, posible con un nuevo reflujo circulante, puede reducir el EII un 24% en total.

Estudios de recuperación de calor

El resto de las plantas estudiadas no requieren la eliminación de "cuellos de botella", por lo que el objetivo del estudio detallado fue el ahorro de energía.

En todos los casos se realizaron simulaciones de los procesos en base a datos de *test run* y se realizó el *rating* de los intercambiadores para evaluar las resistencias de ensuciamiento existentes.

Para la segunda UDC, las predicciones del área a instalar para los proyectos que lograran los máximos ahorros indicaban que el área requeñida era excesiva, no solamente desde el punto de vista de costo sino también desde un punto de vista práctico de requerimientos de espacio y limitaciones en la pérdida de carga. Se demostró rápidamente que incrementando

Figura 6 - Curvas compuestas (temperaturas reales)

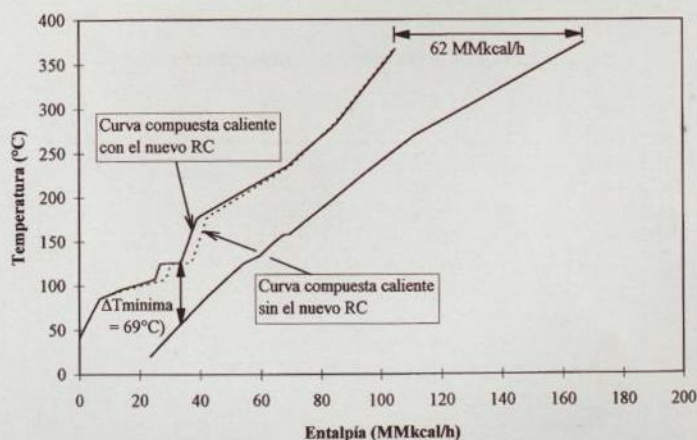
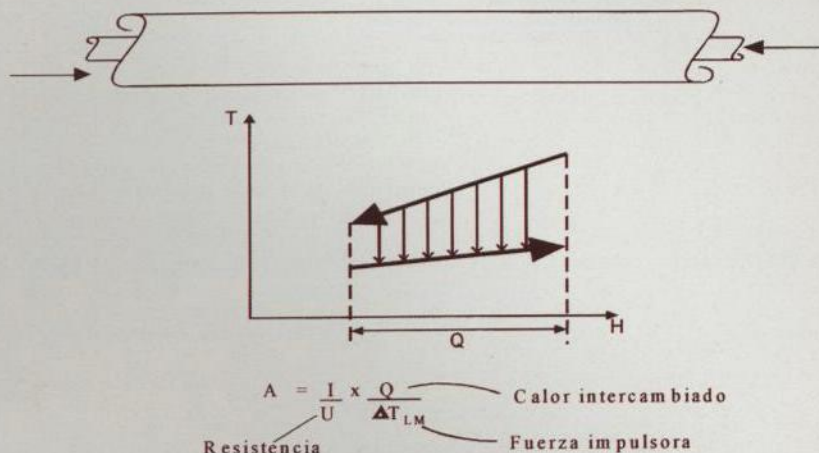


Figura 7 - Intercambiador ideal en contracorriente



la cantidad de calor extraída en el reflujo circulante existente e instalando un nuevo reflujo circulante en el fondo de la fraccionadora, se reducirían de forma significativa los requerimientos de área.

Se diseñó entonces una red de intercambio revisada incluyendo ambas modificaciones y ahorrando 12 MMkcal/h de calor absorbido en el horno. Esto se dividió en dos etapas y se desarrolló en detalle para su inmediata implementación. La segunda etapa, que involucra el nuevo reflujo circulante, puede ser implementada con posterioridad sin afectar a los proyectos de la primera etapa. Los proyectos desarrollados para ambas etapas pueden reusar algunos de los intercambiadores que se desmontarán de la otra UDC cuando sea remodelada.

La disminución global del EII para esta unidad será de 18%.

En el U/P los proyectos de recuperación de calor involucran precalentamiento de la alimentación a la fraccionadora, calefacción del *reboiler* con calor de proceso y generación de vapor a partir de los gases de combustión del horno.

En el caso de PDA, el aumento de recuperación de calor permite una disminución del consumo de combustible en los hornos a corto plazo, con la finalidad de sacar de servicio uno de ellos con los proyectos planteados a largo plazo, lo que tendría además ventajas adicionales operativas.

Los estudios similares de recuperación de calor que se desarrollaron para las plantas de U/P y de PDA identificaron

proyectos que permiten una reducción del EII para esas plantas en aproximadamente un 18% en cada caso.

Al momento de escribirse el presente artículo se continúa con el análisis de las FC-CU y del sistema de servicios auxiliares. Se esperan resultados similares de acuerdo con el potencial de los ahorros identificados en el Análisis de Sitio Completo.

RESUMEN DE LOS PROYECTOS A IMPLEMENTAR

UDC con 25 % de aumento de capacidad de procesamiento

- Modificación del tren de intercambio: se instalarán 4 nuevos equipos y se reemplazarán los intercambiadores crudo/crudo reducido existentes por otros de mayor área.
- Ahorro en fuel oil equivalente: más de 600.000 U\$/año

- Período de repago: 2.2 años
- 20% de reducción en el EII

UDC

- Modificación del tren de intercambio con la incorporación de un nuevo reflujo circulante de fondo: se instalarán 3 nuevos equipos y se incorporarán 4 de los intercambiadores crudo/crudo reducido reemplazados la otra UDC.
- Ahorro en fuel oil equivalente: más de 700.000 U\$/año
- Período de repago: 1.5 años
- 18% de reducción en el EII

PDA:

- Modificación del tren de intercambio: se instalarán 3 nuevos equipos
- Ahorro en fuel oil equivalente: más de 300.000 U\$/año
- Período de repago: 4.1 años
- 18% de reducción en el EII

U/P

- Modificación de la red de precalentamiento: se agregan dos nuevos equipos.
- Generación de vapor de alta a partir de los gases de combustión de los hornos
- Ahorro en fuel oil equivalente: más de 500.000 U\$/año
- Período de repago: 2.2 años
- 18% de reducción en el EII

FCCB

La integración energética se encuentra en etapa de desarrollo.

Análisis del Sitio Completo

Los proyectos referidos a la optimización del sistema de servicios auxiliares se desarrollarán luego de finalizados los proyectos de integración energética de las unidades seleccionadas. Están orientados principalmente al precalentamiento de agua a calderas y a la incorporación de un

Figura 8 - Objetivos de consumos y ahorros globales a largo plazo

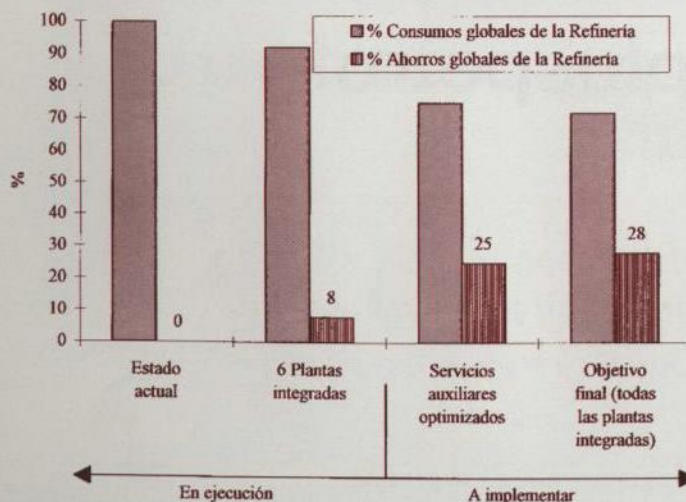


Tabla 1. Resultados del Estudio de Sitio Completo para las plantas individuales

Unidad	Porcentaje de ahorros esperados	Otro potencial
UDC C	23	
Vacío A	10	Integración con UDC C
FCCU A	41	Aumento de generación de vapor de alta
Coque A	0	Generación de vapor de baja
Vacío B	3	Generación de vapor de baja
FCCU B	12	Aumento de generación de vapor de alta
Coque B	0	Aumento de generación de vapor de media
HTG	0	Generación de vapor de media y de baja
UDC D	26	
Vacío lubricantes	35	No hay beneficio en integrarla con la UDC D
PDA	26	
MEK	25	Generación de vapor de media
Furfural	11	Aumento de generación de vapor de media
HTA	25	
U/P	14	Gen. de vapor con los gases de combustión de los hornos
DDB	8	Generación de vapor de baja
Ahorros	188 tnFOE 6.61 MM\$/año	

nuevo colector de presión intermedia.

Se está desarrollando una estrategia para la implementación de los proyectos a corto y largo plazo en su conjunto, de manera que sean compatibles entre sí y de acuerdo al programa de paros establecido en la refinería.

La figura 8 muestra los objetivos de consumos y ahorros esperados en cada etapa de implementación y el objetivo final a largo plazo, cuando se integre la totalidad de las unidades de procesamiento de la refinería.

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGIA

Las técnicas de *Análisis Pinch* son he-

rramientas necesarias para los ingenieros de proceso en su trabajo de análisis y optimización de plantas existentes, así como también en la evaluación de nuevos proyectos.

El *Análisis Pinch* junto a la simulación de procesos deben formar parte del flujo de trabajo normal de los ingenieros de proceso.

Para que esto pueda lograrse es indispensable la capacitación en estas técnicas, así como también la realización de estudios *Pinch* bajo la supervisión de un experto.

Específicamente en este caso, Linnhoff March / Sotela S.R.L. están realizando junto a YPF (CTA y RLP-Ing. de procesos) un programa de cursos de capacitación participando en proyectos que asegu-

ran la transferencia de tecnología y que permitirán que YPF pueda, en el futuro, aplicar *Análisis Pinch* en forma continua.

CONCLUSIONES

Como parte del proceso de transformación de YPF se dispuso la necesidad de reducir los índices energéticos de la Refinería La Plata.

Se utilizó como herramienta el *Análisis Pinch*, el cual permite definir objetivos de los máximos ahorros posibles que pueden lograrse en un sitio antes de realizar diseños detallados, e identificar los puntos de mayor potencial de ahorros.

Se concentraron los esfuerzos en las seis unidades identificadas en el análisis y en el sistema de servicios auxiliares, desarrollándose proyectos de corto y largo plazo que alcancen los objetivos deseados de la forma más rentable desde el punto de vista económico, parte de los cuales ya están siendo implementados.

BIBLIOGRAFIA

Linnhoff, B and others, *A user guide on process integration for the efficient use of energy*, Institution of Chemical Engineers, 1982, 1994.

Linnhoff, B *Use Pinch Analysis to knock down capital costs and emissions*, Chemical Engineering Progress, AICHE, August 1994.



*Eficiencia
en la Exploración y Producción
de Gas y Petróleo*

La Rioja 301 - Buenos Aires - Argentina