

# Programas de monitoreo continuo para el aumento de la eficiencia energética

Por *Gustavo A. Marconi, María Elisa Luque y Andrés Hillar* (Axion Energy)

**Este trabajo relata los alcances conseguidos en la Refinería Campana tras implementarse en el año 2007 un programa de mejora en la eficiencia energética de la planta, basado en el monitoreo, en la mejora continua de aislaciones y pérdidas de vapor; y en la optimización del sistema de trampas de vapor.**

**D**esde mediados de 2007 se implementó un programa sistemático de mejora en la eficiencia energética en la Refinería Campana. Dos de los pilares de este programa fueron, por un lado, los programas de monitoreo y mejora continua de aislaciones y pérdidas de vapor; y por el otro, el programa de optimización del sistema de trampas de vapor.

El programa de mejoras de aislaciones y pérdidas de vapor basa su éxito en el trabajo integrado entre diferentes sectores: personal de proceso que reporta los desvíos que se observan en el campo, personal del grupo de eficiencia de energía que fija prioridades, y coordina con personal de mantenimiento la ejecución.

En cuanto al sistema de trampas de vapor, la estrategia consistió en realizar relevamientos anuales con el fin de detectar las trampas falladas, para luego proceder a su reemplazo en el período comprendido entre relevamientos, sumado a un monitoreo constante durante todo el año. Se ha realizado conjuntamente un fuerte trabajo de capacitación al personal de mantenimiento y proceso encargado de realizar reemplazos y monitoreos para detectar anomalías en el funcionamiento. Se logró pasar de una condición inicial -en que el 53% de las trampas instaladas y en servicio estaban fallando- a la condición actual, en que solo el 5% de las trampas instaladas y en servicio fallaban.

Como resultado de ambas acciones se logró reducir el consumo de vapor el 6%, lo cual representa un ahorro acumulado de 3.400 kU\$S.

Luego de más de cinco años de trabajo continuo, hoy podemos notar que el sistema está llegando a su madurez, lo que resultó no solo en beneficios económicos concretos, sino también en un aumento de la confiabilidad. Debido a los buenos resultados obtenidos, la metodología de trabajo se está expandiendo a otras áreas de foco, como a la mejora en la condición mecánica de hornos y calderas; o a la detección sistemática de descargas no deseadas al sistema de antorcha.

## Razones para mejorar la eficiencia

A nivel global, los programas de mejora de eficiencia energética han sido fuertemente estimulados por el incremento de los costos del combustible. Diversas asociaciones a nivel internacional, como el *American Petroleum Institute (API)* de los Estados Unidos, y *Climate Change Performance Index (CCPI)* de Canadá, han suscripto acuerdos tendientes a reducir el consumo energético en forma continua. No sorprende que las refinerías de estos países hayan progresado notablemente a través de inversiones de capital innovadoras y mejoras en la operación.

Mejorar la eficiencia energética en la industria del petróleo es considerado un eslabón fundamental, no solo para reducir costos operativos, sino también por razones ambientales, como limitar la emisión de gases de efecto invernadero, mejorar la seguridad del suministro energético y obtener un sistema energético sustentable. En este trabajo se discutirá la implementación de un programa de mejora continua de la eficiencia energética, implementado en Refinería Campana, basado principalmente en la optimización del uso de las facilidades existentes.

Implementar este tipo de programas requiere de un esfuerzo sustancial en lo relacionado con la agresividad de los lineamientos y su implementación, ya que una de las dificultades más grandes que se encuentran son las barreras actitudinales ante comportamientos que deben ser cambiados.

Estudios previos han demostrado que la optimización de una refinería compleja puede resultar en ahorros de entre el 10% y el 15% en la cantidad de energía empleada, y muchas de estas mejoras pueden ser realizadas a partir de programas de relativamente bajo costo de inversión, pero con un gran retorno, como por ejemplo:

- Aumentar el intercambio de calor entre corrientes, optimizando las condiciones de funcionamiento de los trenes de precalentamiento, por ejemplo a través de programas de limpieza.

- Minimizando el exceso de O<sub>2</sub> en equipos de combustión.
- Optimizando la condición de aislaciones críticas.
- Mejorando el funcionamiento del circuito de vapor con trampeo adecuado y minimización de pérdidas.

## Metodología

### Trampas de vapor

Con el fin de mejorar el funcionamiento del sistema de trampas de vapor de la Refinería Campana, se optó primeramente por la búsqueda de un contratista especializado, que permitiera la realización de relevamientos periódicos, para así diagnosticar el funcionamiento de las trampas de vapor existentes. A partir de los resultados de estos relevamientos, se desarrolló un plan de reemplazo de trampas, corrección de instalación de las trampas que se encontraban falladas o frías y desmantelamiento de aquellas trampas que no son necesarias.

Durante todo el año se verificó el correcto seguimiento de las recomendaciones efectuadas, así como la realización de un relevamiento continuo (menos exhaustivo) de las trampas que se encontraban fuera de servicio o frías durante la primera verificación. Este tipo de monitoreo constante de tipo iterativo ha demostrado ser de gran utilidad para mejorar el porcentaje de trampas funcionando correctamente a un ritmo superior al asegurado por el proveedor del servicio.

También se ha trabajado con el resto de la organización, de modo tal que cualquier tarea que implique la instalación o modificación del sistema de trampas de vapor sea revisado en todos los casos por los miembros del grupo de eficiencia energética, para de este modo asegurar que cuenten con el asesoramiento para la correcta selección e instalación de trampas.

### Pérdidas de vapor

Las pérdidas de vapor son relevadas como parte del trabajo, en recorridas de rutina en el campo por operadores de proceso especialmente designados. Ellos están encargados de reportar su ubicación, altura de pluma, identificarlas en campo con cartelera *ad hoc*, y realizar las notificaciones de reparación correspondientes. A partir de esto, el grupo de eficiencia energética prioriza y consensúa el orden de reparación, junto con el personal de mantenimiento.

Adicionalmente, una vez por año, el grupo de energía realiza una revisión de "ojos fríos" en toda la refinería, con el fin de verificar e impulsar que el número de pérdidas reportadas, y aquellas que se encuentran efectivamente en el campo, coincidan.

Las pérdidas de vapor son cuantificadas mediante el empleo de las siguientes fórmulas, comúnmente utilizadas en la industria:

$$M = 0,023 * P_s * \exp(1,7359 * h)$$

Donde:

$M$  = Magnitud de pérdida [kg/h]

$P_s$  = Presión de la línea de vapor [psi]

$h$  = altura de la pluma m

### Ecuación 1

Y para priorizarlas, se calcula la relación costo/beneficio de la siguiente manera:

$$B/C = \frac{M \cdot 24 \cdot 365 \cdot C_s}{1000 \cdot C_r}$$

Donde:

B/C = relación Costo Beneficio

M = Magnitud de pérdida [kg/h]

C<sub>s</sub> = Costo vapor

C<sub>r</sub> = Costo Reparación

## **Ecuación 2**

### **Aislaciones críticas**

El grupo de energía realiza recorridos por las diferentes líneas de vapor, tomando temperaturas en todas las líneas, a fin de detectar zonas con faltantes de aislaciones y/o donde la misma no evita la pérdida de calor con los estándares esperados. A partir del dato de diferencia de temperatura, presión de la línea y longitud del tramo en cuestión, se calcula la pérdida de calor.

Con estos datos, y teniendo en cuenta el costo de reparación, se calcula la relación de costo-beneficio, a fin de priorizar reparaciones. Luego, se realizan relevamientos periódicos para verificar el estado de las reparaciones realizadas, y revisiones en líneas, cuya relación costo-beneficio originalmente era baja para verificar si son necesarias nuevas reparaciones.

### **Involucración de los distintos sectores**

El éxito de los programas de mejora de la eficiencia energética está directamente ligado al involucramiento y colaboración de los diferentes sectores de la organización. Mediante el trabajo interdisciplinario de las distintas áreas, contando con un fuerte apoyo de las diferentes gerencias y la asignación de un presupuesto específico para programas de eficiencia, es que la Refinería Campana ha podido concretar mejoras significativas en el aprovechamiento de la energía con las facilidades existentes.

### **Participación con la organización del turno**

Con el fin de poder realizar un monitoreo constante de la evolución del funcionamiento de las trampas de vapor y pérdidas de vapor, se consensuó con la organización de turno la asignación de un grupo especial de operadores (campeones de energía), encargados de realizar relevamientos en campo. Como parte de sus tareas rutinarias, estos operadores están encargados de reportar al grupo de eficiencia energética las pérdidas de vapor en planta, así como algunas de sus características, para poder cuantificarlas y priorizar su reparación, y de brindar asistencia y apoyo para el monitoreo del funcionamiento de las trampas de vapor instaladas.

Como parte de su entrenamiento, todos los operadores reciben información sobre la eficiencia energética en la refinería y los distintos programas que se llevan a cabo. Adicionalmente, el grupo de eficiencia energética participa periódicamente de las reuniones operativas, con el objetivo de transmitir y proponer lineamientos operativos que permitan optimizar el consumo energético durante la operación.

### **Involucrarse con la organización de mantenimiento**

Se trabajó con la gerencia de mantenimiento a fin de obtener recursos dedicados a los programas de energía. Periódicamente, estos recursos son capacitados en las reparaciones específicas que realizan, y se ha intentado mantener los grupos de trabajos para maximizar la eficiencia en la ejecución de las distintas tareas.

Adicionalmente, el grupo de eficiencia energética colabora aportando información útil para planificar los trabajos a realizar, ya sea indicando cuáles son los trabajos prioritarios, o brindando asesoramiento técnico en las áreas que así lo requieran.

### **Involucrarse con la organización de Ingeniería de procesos y proyectos**

Para el éxito de los programas de monitoreo continuo era necesario incluir a todas las partes de la organización

con el fin de poder contar con su alineamiento. Para poder cerrar el círculo, se ha trabajado tanto con el área de Ingeniería de procesos como con el área de proyectos, para realizar en conjunto con ellos una revisión, desde el punto de vista energético, de todos aquellos proyectos y modificaciones que involucren trampas de vapor o aislaciones, para que las mismas cumplan con criterios de mejora de eficiencia y confiabilidad en la operación.

## Resultados

Los programas de monitoreo continuo comenzaron a ser implementados en forma sistemática en Refinería Campana a partir del año 2007/2008. Como todo nuevo sistema que se implementa, estos programas tuvieron, en sus inicios, inconvenientes relacionados con un cambio cultural en la organización.

## Trampas de vapor

El primer relevamiento del sistema de trampas de vapor de la Refinería fue realizado en el año 2007, y sirvió como diagnóstico a fin de evaluar el estado del sistema de trampas de vapor. Luego de este trabajo, estas fueron catalogadas como “buenas” (si funcionan correctamente), “fuera de servicio” (F/S, no se encontraban en uso al momento de verificación), “frías” (no tenían temperatura) o “falladas” (no funcionaban correctamente). El resultado de este relevamiento fue que la refinería contaba con 2.423 trampas de vapor, de las cuales solo el 25% del parque total funcionaba correctamente (figuras 3 y 4).

Si comparamos estos resultados con los obtenidos en otras refinerías del circuito ExxonMobil, se puede notar que los datos de Campana se encontraban entre los más deficientes, incluso si se los compara con refinerías de tamaño similar, tal como puede verse en la tabla 1 y la figura 1. Los datos de las refinerías de tamaño comparable a Campana se encuentran sombreados en gris.

Se realizaron relevamientos programados en los años 2009, 2010, 2011 y 2012, con el fin de seguir la evolución del sistema. Los resultados de los mismos son presentados en la tabla 2 y la figura 2. Los porcentajes de la tabla están referidos al parque total de trampas, independiente-

Refinería	% trampas falladas (1° relevamiento)	% trampas falladas (4° relevamiento)
A	20	3
B	20	11
C	26	3
D	28	4
E	32	29
F	39	8
G	42	7
H	42	30
I	45	22
J	47	24
K	50	20
L	50	39
Campana	53	5

Tabla 1. Población de trampas falladas dentro de la población de trampas en servicio de la región Américas del circuito ExxonMobil.

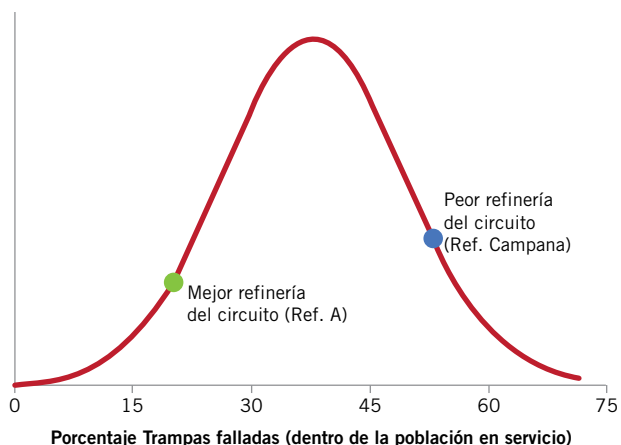


Figura 1. Distribución poblacional del porcentaje de trampas falladas dentro de la región Américas del Circuito ExxonMobil – Relevamiento Inicial.

mente de que las mismas se encontraran en servicio o no. Considerando los resultados obtenidos hasta 2012, a partir de ese momento se decidió espaciar los relevamientos a bianuales.

	Fecha	% Buenas	% Frías y F/Servicio	% de falladas
Survey Inicial	2007	25%	47%	28%
1 <sup>er</sup> Survey	2009	42%	40%	18%
2 <sup>do</sup> Survey	2010	66%	29%	5%
3 <sup>er</sup> Survey	2011	68%	29%	3%
4 <sup>to</sup> Survey	2012	79%	16%	5%

Tabla 2. Evolución del funcionamiento del parque de trampas de vapor de Refinería Campana.

Luego de haberse llevado a cabo cinco relevamientos, y el consecuente trabajo de campo y mantenimiento que traen aparejados a posterioridad, al realizar un gráfico comparando la mejora en el funcionamiento de las trampas de vapor con las mismas refinerías del circuito ExxonMobil (figura 5), se puede ver que la evolución de Campana ha sido mayor. Esto se debe probablemente a la realización de pequeños relevamientos constantes a lo largo del año, con el objeto de verificar el correcto funcionamiento de las trampas a reemplazar, así como la nueva revisión de trampas fuera de servicio para detectar posibles nuevas falladas.

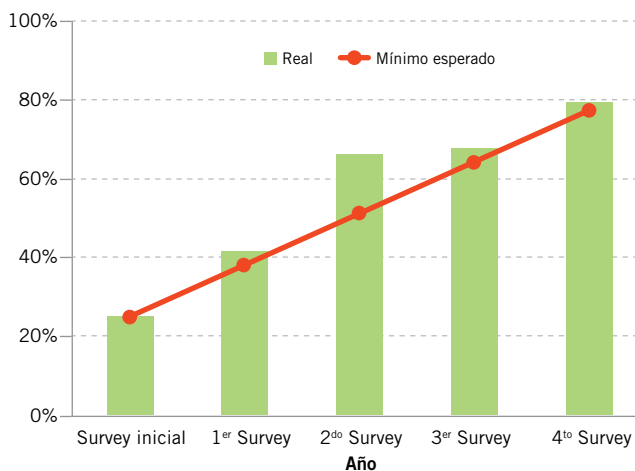


Figura 2. Evolución real vs. esperada del porcentaje de trampas de vapor funcionando correctamente (referido al parque total de trampas).

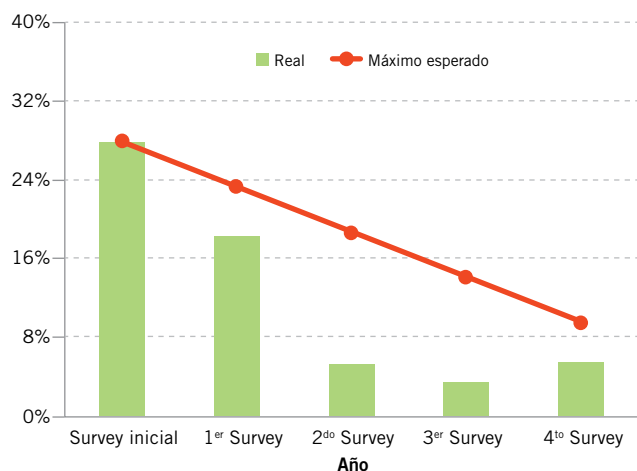


Figura 3. Evolución real vs. esperada del porcentaje de trampas de vapor falladas (referido al parque total de trampas).

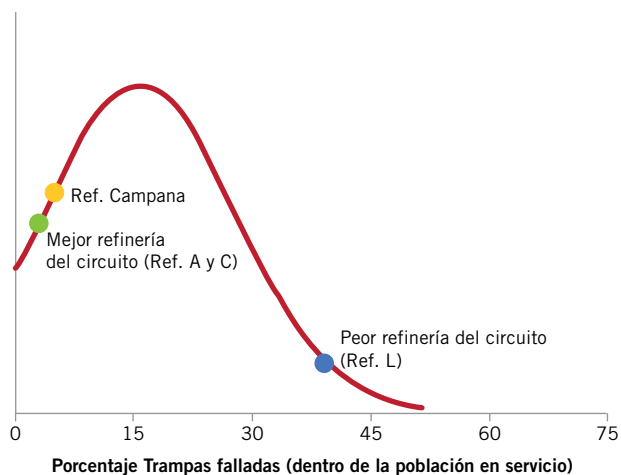


Figura 5. Distribución poblacional del porcentaje de trampas falladas dentro de la región Américas del Circuito ExxonMobil – Resultados luego de cinco relevamientos.

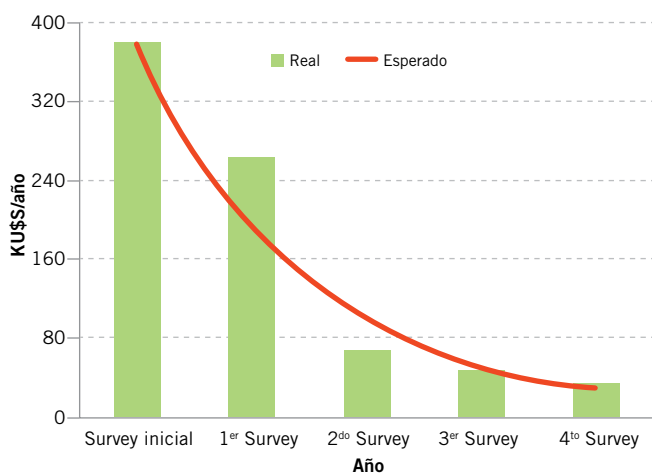


Figura 4. Ahorros capturados / a capturar posteriores a cada relevamiento (referido al parque total de trampas).

Estos pequeños relevamientos continuos a lo largo del año fueron una característica distintiva del sitio y no fueron realizados en ninguna otra refinería del circuito.

## Pérdidas de vapor

El programa de relevamiento sistemático y reparación de pérdidas de vapor ha sido uno de los de implementación más dificultosa. Este programa tiene la particularidad de requerir un monitoreo continuo en el campo, que debe estar acompañado de la consiguiente notificación de trabajos para su posterior reparación. Esta información es relevada por recursos asignados por la organización de turno.

Se ha obtenido una mejora cualitativa y cuantitativa importante a partir de dos acciones concretas. La primera de ellas ha sido capacitar adecuadamente a las personas encargadas de realizar los relevamientos, y la segunda ha sido

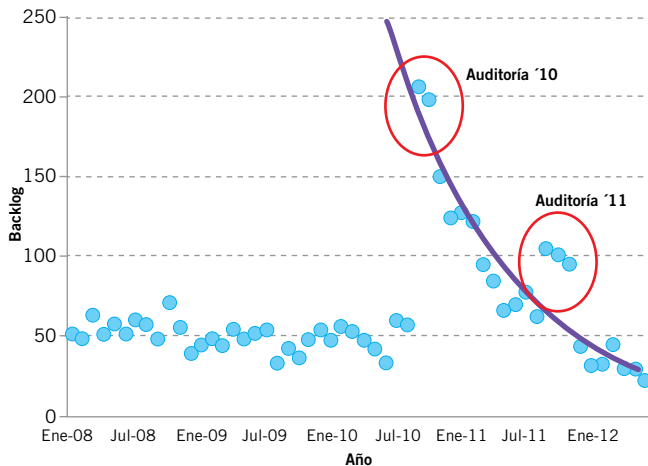


Figura 6. Evolución de backlog de pérdidas de vapor.

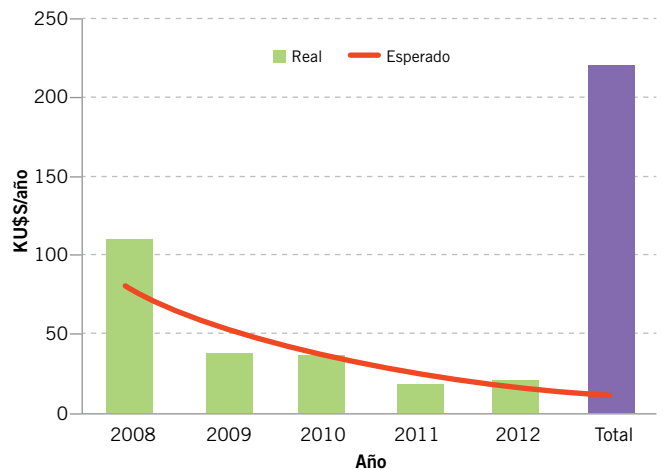


Figura 7. Ahorro económico asociado a la reparación de aislaciones críticas.

la instrumentación de una revisión de ojos fríos adicional en los meses de septiembre, donde los miembros del grupo de eficiencia energética salen a realizar un relevamiento de pérdidas totales y lo contrastan contra los números reportados. En el primer año que se realizó esta revisión, pudo notarse que la pérdidas reales triplicaban las que estaban reportadas. Con la segunda revisión, la brecha disminuyó notablemente. Los resultados anteriormente mencionados pueden observarse con más detalle en la figura 6.

Los resultados obtenidos a lo largo del programa se encuentran resumidos en la tabla 3. Tal como puede observarse, luego de años de trabajo sistemático, las pérdidas de vapor totales de la refinería suman menos de 30, y las toneladas de vapor venteado han disminuido notablemente en comparación con los datos recabados en 2010 y 2011.

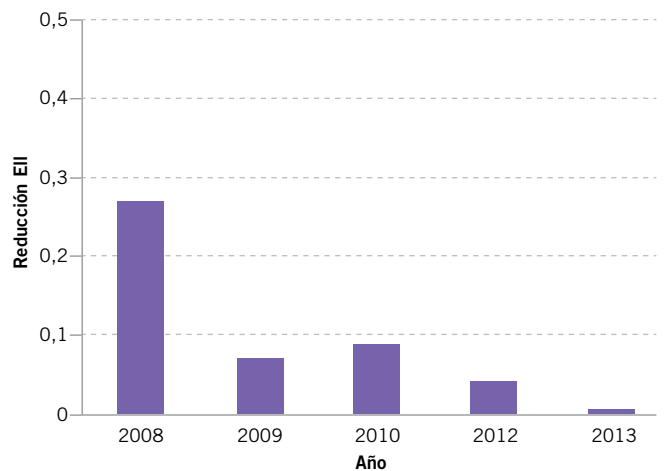


Figura 8. Reducción de EII asociada a la reparación de aislaciones críticas.

Año	2008	2009	2010	2011	2012
Reparaciones	193	159	498	489	219
Ah KU\$/año	216	245	1080	954	307
Ton/hr	S/D	3.1	13.6	12.1	6.4

Tabla 3. Evolución de pérdidas de vapor.

## Aislaciones críticas

El programa de aislaciones críticas puede considerarse que ya ha llegado a su madurez. Tal como puede observarse en los gráficos 7 y 8, los beneficios económicos y en reducción de EII de las facilidades existentes que quedan por capturar son mínimos, y no cumplen con los criterios de relación costo-beneficio.

## Conclusiones

Los programas de mejora de la eficiencia energética implementados en Refinería Campana han demostrado tener un efecto positivo en la reducción del consumo energético a lo largo de los años.

En la actualidad, el aprovechamiento de condiciones existentes se está acercando a su óptimo, con lo cual los esfuerzos actuales en algunos campos ahora son tendientes a mantener los logros ya obtenidos (como en el caso del programa de aislaciones críticas).

El éxito de los mismos ha sido el resultado de años de esfuerzo continuo, seguimiento en campo, concientización y capacitación del personal. ■

## Bibliografía

GEMS Blue Book, *ExxonMobil Research and Engineering*.  
D.Gordic et al. / *Energy Conversion and Management* 51 (2010) 2783 -2790.  
B.K. Sovacool / *Technology in Society* 31 (2009) 365-373.  
P. Gadonneix et al. / *World Energy Issues Monitor*, World Energy Council 2012.  
P. Gadonneix et al. / *Energy Efficiency Policies around the World: Review and Evaluation*, World Energy Council 2008.  
P. Gadonneix et al. / *Regional Energy Integration in Latin America and the Caribbean*, World Energy Council 2008.  
O.A. Jesulye et al. / *Energy Policy* 35 (2007) 1338-1345.  
R.S. Lima, R. Schaeffer / *Energy* 36 (2011) 3101-3112.  
G. McKay, C. R. Holland / *Engineering Costs and Production Economics* 5 (1981) 193-203.  
I. Fleming / *PTQ Q2* (2010) 47-53.  
N. Chikezie, *Filtration + Separation* (September 2008) 27-29.  
J.Bujak / *Journal of Cleaner Production* 17 (2009) 1453-1464.  
Manual de Eficiencia Energética. Gas Natural Fenosa. Depósito Legal: M-51519-2008.