

AHORRO DE ENERGIA EN REFINERIAS

ACTUACION EN EL GRUPO REPSOL

Desde una revisión de los orígenes habituales de los consumos y mermas de materia prima o combustibles en la operación del refino, se pasa a la presentación de los objetivos del plan de actuación en curso en las refinerías de Repsol. Varios ejemplos ilustran los buenos resultados obtenidos.

1. INTRODUCCION

La industria del refinado del petróleo es consumidora intensiva de energía, tanto en forma de combustible directamente aplicado en los numerosos hornos y calderas que la integran, como en forma de energía eléctrica [1], utilizada esencialmente para accionamiento de motores y en menor medida, aunque en cantidades nada despreciables en el alumbrado de las plantas.

La importancia relativa de los costes energéticos dentro del refino de petróleo se puede apreciar al considerar que representa:

- 40,0 % de los costes totales, incluyendo amortizaciones.
- 80,0% de los costes variables.

De la misma forma, el volumen total de los consumos se desprende inmediatamente contemplando algunas cifras correspondientes al año 1996¹ (Tabla I).

A las razones puramente económicas para mejorar la eficiencia ener-

gética, se han sumado las consideraciones medioambientales, hoy día en primer plano de la preocupación social. La reducción en los consumos energéticos implica automáticamente menor emisión de contaminantes formados durante la combustión, SO₂ y NO_x, responsables de la "lluvia ácida", junto a la reducción del CO₂ emitido, principal acusado de provocar el cambio climático en nuestro planeta a través del "efecto invernadero".

2. CONTABILIDAD ENERGETICA EN LAS REFINERIAS

Una peculiaridad de esta actividad reside en que la materia prima y los combustibles son prácticamente indistinguibles, lo que justifica integrar en el mismo concepto dos sumandos que en la mayor parte de las industrias distintas al refino de petróleo acostumbran a estar netamente diferenciados: consumos energéticos en forma de com-

J. ANDRES MARTINEZ
Repsol Petróleo, S.A.

1: A partir de esta década, el refino español ha apostado decididamente por la cogeneración, con lo que la frontera entre calefacción estricta y producción/consumo de energía eléctrica no está definida nítidamente.

Tabla I
Destilación de crudo y consumo energético

Año 1996	Destilación Mt	Consumo		Pérdidas	
		Mt	% s / crudo	Mt	% s /crudo
Norte América	864,2	57,5	6,65	-0,1	(2)
Unión Europea	640,1	37,2	5,81	7,2	1,12
España	53,7	3,8 ⁽¹⁾	7,14	0,6	1,18

(1) Representa cerca del 4% de la Energía Total consumida en España
(2) Probablemente el valor negativo se deba al criterio contable utilizado.

bustible y mermas o pérdidas indeseadas del producto.

El volumen de consumos y mermas de las refinerías, consideradas en un sentido amplio, está comprendido en un amplio intervalo, típicamente en el rango 6'0 - 15'0 % del crudo destilado. El valor concreto de cada refinería particular está condicionado por diversos factores:

- Tamaño y nivel de actividad.
- Complejidad del proceso de refino.
- Diseño de las unidades.
- Severidad de los tratamientos.
- Gestión energética.

Esta multiplicidad de influencias causa ciertas dificultades prácticas, entre las que merece destacarse:

1. Contabilidad energética: Cuando se pretende comparar diferentes situaciones, bien sea entre distintas refinerías, o incluso distintos periodos dentro de la misma unidad, el contraste directo de las cifras de consumo no es representativo, se precisa introducir una serie de correcciones que tomen en consideración los parámetros de funcionamiento (nivel, severidad, etc.).

2. Diseño de nuevas calidades de productos: En los últimos tiempos, al considerar toda la problemática asociada a las nuevas especificaciones de combustibles con objeto de minimizar el impacto medioambiental que produce su consumo, ha pasado a primer plano la fuerte influencia que ejerce las condiciones de operación sobre los consumos energéticos. Hoy forma parte de la cultura en el sector, que al evaluar la incidencia de un cierto combustible sobre el entorno, es imprescindible considerar el ciclo de vida completo del mismo, por lo que al efecto inmediato debido a

la combustión, se tiene que añadir el originado en su fabricación.

La interacción calidad - consumo se presentó con total claridad en el año 1985 al tener que definir las características de la futura gasolina europea sin plomo, necesaria en todos los países de la U.E. para poder utilizar la nueva familia de automóviles provistas de catalizador trifuncional. Al especificar el octanaje más conveniente desde el punto de vista energético, había que hallar el equilibrio entre dos fenómenos contradictorios:

- Alto número de octano, significaba que los diseñadores de motores podían proyectar mayores relaciones de compresión, que conduce directamente a mejorar la eficiencia energética del ciclo termodinámico.
- Elevar el octanaje de las gasolinas implica necesariamente mayor severidad en los procesos de las refinerías, lo que comúnmente implica aumentar el consumo energético.
- Un minucioso estudio de Conca-we² llegó a la conclusión que los números de octano 95 RON y 85

MON eran los que producían un consumo energético mínimo al considerar el ciclo de vida de la gasolina.

Otra muestra de lo afirmado se encuentra en los estudios que se llevaron a cabo a raíz de las recientes campañas para modificar las especificaciones de los combustibles de automoción y calefacción, CONCAWE emitió un informe [2] acerca de las consecuencias sobre el consumo energético, y las emisiones de CO₂ asociadas. Las principales conclusiones pueden contemplarse en la figura 1, donde se vuelve a poner claramente de manifiesto la interdependencia entre especificación/consumo.

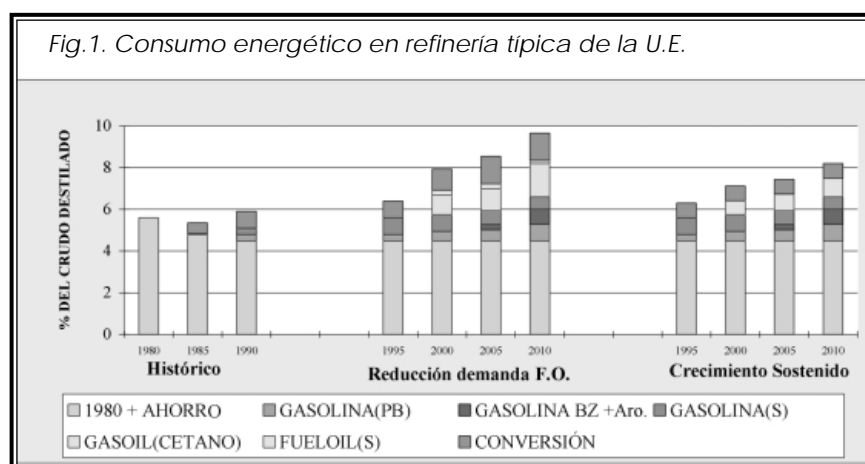
De la figura 1 resulta significativo contemplar cómo las medidas de ahorro energético, que hubiesen significado una reducción del 15%, se han visto sobrepasadas por los mayores consumos impuestos por la creciente complejidad de las refinerías.

De particular importancia será el efecto de nuevas especificaciones de combustibles en un entorno marcado por la disminución en el consumo de fuelóleo

3. ORIGEN DE LOS CONSUMOS Y MERMAS

En una aproximación preliminar, suele admitirse que la entalpía de los productos petrolíferos comer-

2: Conca-we: es una organización patrocinada por las compañías europeas de refino que estudia problemas concernientes a la seguridad, salud y protección medioambiental en su relación con la industria petrolera.



ciales varía escasamente en relación a la del crudo original, por lo que resulta razonablemente preciso desprestigiar las posibles diferencias en contenido energético entre ambas.

Con esta hipótesis, la práctica totalidad de la energía consumida durante el proceso ha de ser forzosamente disipada en el ambiente, atmósfera principalmente y en menor medida a caudales acuáticos, por lo que una previa medida, aunque insuficiente como posteriormente argumentaremos, será el control del caudal y temperatura de las principales corrientes de refino que desembocan en estos medios:

- Humos de chimeneas.
- Torres de refrigeración.
- Funcionamiento de los aerorrefrigerantes.
- Régimen de la antorcha.
- Efluentes acuosos.
- Magnitudes que serán complementadas con el balance neto de exportación/importación de los distintos recursos energéticos (gas combustible, vapor, energía eléctrica, etc.).

El anterior balance, necesario para contrastar la coherencia de las cifras, es insuficiente para la toma de decisiones que conducen a la reducción de los consumos específicos, objetivo final del análisis.

Observando con mayor detalle las causas del gasto, las instalaciones consumidoras de energía más relevantes dentro de las unidades de refino pertenecen a cuatro categorías principales:

- Hornos y calderas.
- Columnas de destilación.
- Equipos de accionamiento (motores y turbinas principalmente).
- Instalaciones generadoras de energía eléctrica.

Pero íntimamente relacionados con estos se hallan otros equipos:

- Redes de vapor.
- Redes eléctricas de distribución.
- Aislamiento térmico.
- Intercambiadores de calor.
- Líneas de transporte de productos y parques de almacenamiento.

Mientras que en el capítulo de mermas cabe destacar los siguientes [3]:

- Incertidumbre en calidades y medidas³.
- Contenido de agua en el crudo original
- Variación de densidades con temperatura
- Exactitud de los propios sistemas de medida
- Sistema de antorchas.
- Pérdidas por evaporación.
- Sistema de tanques de almacenamiento.
- Unidades de proceso.
- Varios.
- Efluentes líquidos.

La problemática energética es muy similar en todas las refinerías, por lo que no es de extrañar

3: Aunque habitualmente no se encuentran incluidos entre las fuentes de mermas, su importancia no puede ser despreciada. Con frecuencia se erige en la segunda fuente tras el sistema de antorchas.

que haya existido un marcado interés por establecer procedimientos normalizados de cuantificación, en especial para establecer comparaciones válidas entre diferentes plantas. En los últimos tiempos algunos de estos intentos han conseguido imponerse como referencia universalmente aceptada. Ejemplo de estas últimas cabe destacar la propuesta por Exxon [4], orientada fundamentalmente hacia los aspectos técnicos, y la desarrollada por la consultora Solomon Associates Ltd., decantada hacia los aspectos de contabilidad energética.

4. PLAN DE ACTUACION EN REPSOL

El consumo de energía en el grupo Repsol Petróleo más Petronor, debido a la complejidad y tamaño de las refinerías, alcanza cifras muy importantes. Un resumen de las mismas se ofrece en la Tabla II.

A pesar de que el control de los consumos constituye una actividad prioritaria en la gestión diaria de las refinerías, se creyó oportuno realizar un esfuerzo suplementario en este sentido, pensando que la magnitud de las cifras involucradas permitían abrigar fundadas esperanzas de conseguir ahorros significativos.

Con este propósito, a finales del año 1994 se crea en Repsol Petróleo y Petronor un grupo de trabajo con el propósito de desarrollar, controlar y evaluar un programa para la reducción de consumos y mermas dentro de las refinerías del grupo repsol.

El plan, cuyo criterio director será la rentabilidad de las medidas a implantar, prevé actuar sobre los dos factores claves en la eficiencia:

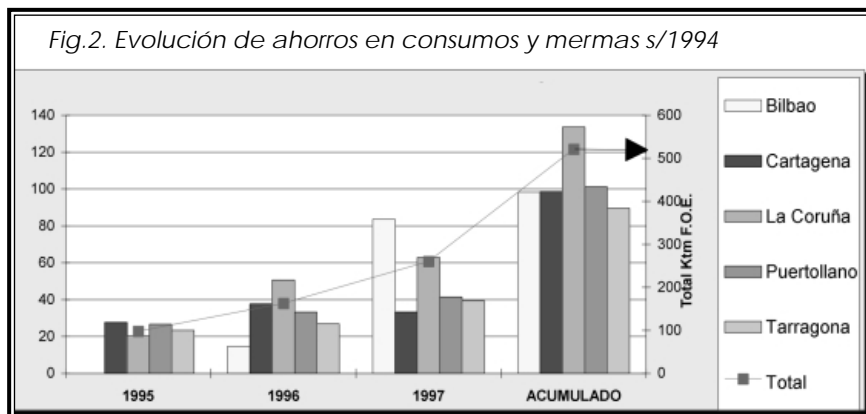
- *Gestión* (En una primera aproximación no precisa inversiones).
 - Mejoras en los métodos de operación, mantenimiento y control, que serán plasmados en procedimientos escritos, con el propósito de dotarles de continuidad.
- *Diseño* (Probablemente acompañado de inversiones).
 - Estudiando posibles modificaciones en los esquemas de producción, e implantando aquellas de rentabilidad adecuada

Tabla II
Consumo de energía en las refinerías del Grupo Repsol. Año 1997 (Kt)

	Consumos Directos Brutos ⁽²⁾			Generación E.E. ⁽³⁾
	Mermas	Refinería	Petroquímica	
Petronor	134,1 ⁽¹⁾	539,0	-	78,4
Cartagena	48,2	207,1	-	74,7
La Coruña	129,1 ⁽¹⁾	289,3	-	86,2
Puertollano	132,1 ⁽¹⁾	421,7	239,2	338,3
Tarragona	78,6	362,5	365,4	79,3
Total	522,1⁽¹⁾	1819,6	604,6	656,9

(1): Estas cifras incluyen el coque formado en el reactor de F.C.C., en cantidad del orden de 60 - 90 kt, que se utilizan como combustible en la propia unidad.
 (2) Comprenden energía eléctrica, con la equivalencia: 1 t <> 12 MWh
 (3) Comprende todo el combustible consumido en las plantas, tanto en generación de E.E. como en producción de vapor con el calor residual.

Fig.2. Evolución de ahorros en consumos y mermas s/1994



Dentro de la Dirección General de Refino se crea un equipo de trabajo formado por los jefes de Procesos, que evalúa el seguimiento del plan y, aunque el estudio y ejecución de las posibles acciones en cada refinería es responsabilidad del equipo técnico de la misma, intercambia experiencias y propone nuevas acciones.

4.1. OBJETIVOS

Los objetivos discurren en paralelo a la metodología de trabajo, distinguiendo entre acciones sin inversión, cuya incidencia será apreciable en los dos primeros años de la actuación, y acciones con inversión, de mayor plazo de realización y, por tanto, perceptibles a partir del tercer año de la implantación del plan.

En la Tabla III se resume el alcance cuantitativo de los objetivos marcados, expresados en ahorro anual a la finalización del Plan.

4.2. RESULTADOS

La figura 2 y la Tabla IV muestran los resultados⁴ conseguidos hasta final del año 1997. Merece destacarse los siguientes puntos:

4: Esta información maneja valores depurados, referidos a una base común, que es el nivel de actividad del año 1994.

1. Los resultados de las “acciones sin inversión” han sobrepasado las previsiones. Los objetivos planificados prácticamente se alcanzaron en el primer año del programa.

2. Se ha implantado el 30% de las inversiones previstas, que han producido un ahorro superior al 33% del ahorro planificado.

Teniendo en cuenta que el criterio director del plan era la mejora en el margen de operación que proporciona el ahorro energético, un punto del mayor interés es la comprobación de la rentabilidad de las inversiones realizadas. En este sentido, se realiza un seguimiento minucioso, donde se detectan posibles desviaciones de las previsiones. En la Tabla IV puede constatarse la rentabilidad media del plan, 73% hasta finales de 1997, francamente esperanzador, confirmando una vez más la sentencia: la mejor energía alternativa es el ahorro energético.

5. EJEMPLOS DE REALIZACIONES

En este último apartado se presentan algunos ejemplos significativos de la clase de mejoras acometidas en tres de las áreas más representativas de las refinerías.

5.1. UNIDADES DE DESTILACION DE CRUDO

Como sucede con frecuencia al modificar plantas fundamentales en el esquema de refinado, el objetivo a alcanzar es múltiple⁵. Por lo común entre las metas a conseguir se encuentran aspectos tales como:

- Reducción de los consumos energéticos.
- Aumentar la flexibilidad de tratamiento y versatilidad de la alimentación.
- Mejora en la calidad del fraccionamiento.

Dado el propósito del presente artículo, intentaremos ceñir nuestro interés a los aspectos relacionados más directamente con el ahorro energético, mostrando los resultados conseguidos en dos refinerías, que pese a las inevitables analogías, a su vez presentan rasgos originales.

Refinería de Petronor

Además de los propósitos genéricos relacionados en el anterior apartado, en esta proyecto concreto se pretende avanzar en:

- Mejorar el fraccionamiento, particularmente entre la extracción diesel pesado y el gasóleo atmosférico que corrientemente se carga al FCC, así como entre éste y el crudo reducido que alimenta a la unidad de vacío.
- Restablecer la carga de diseño de la unidad, que por insuficiencia en la capacidad del horno, no se podía alcanzar con los crudos hoy procesados.

Los principales cambios introducidos han consistido en:

- Modificar los reflujos circulantes e internos de la torre de crudo.
- Variar la disposición de las extracciones laterales, que retornan al plato superior al de salida una vez cedido calor al crudo. Ello permite mayor flexibilidad operativa y equilibra el tráfico líquido en la torre, liberando el refrigerante de cabeza.
- Colocar relleno estructurado en

5: Las presentes modificaciones están compartidas con otro programa “Plan de Acción en Unidades de Crudo” que se desarrolla en paralelo con el comentado en este trabajo.

Tabla III
Objetivos del programa de ahorro energético de Repsol

	Ahorros		Inversión	
% s / consumo de referencia	Kt FOE	MPta/Año	MPta	
Sin inversión	3,5	116	1.459	-
Con inversión	13,4	438	5.509	9.785
Total	-	554	6.968	9.785

Tabla IV
Programa de reducción de consumos y mermas: rentabilidad de las inversiones realizadas

Plan de reducción de consumos + Mermas Ahorros al 31/12/1997
Repsol petróleo + Petronor

Control de ahorros reales de inversiones ya operativas

Refinería	Ahorros							
	Inversión Mpta		FOE , Kt/A		MPta/a		TIR %	
	Previsto	Real	Previsto	Real	Previsto	Real	Previsto	Real
Cartagena	324,4	340,8	31,3	30,5	391,4	380,9	79	73
Coruña	389	414	33,3+5,5 GWh	31,0+3,0 GWh	503	426	78	69
Puertollano	897,4	999,3	44+3,0 GWh	55,3+2,7 GWh	828,6	998,8	63	68
Tarragona	356,0	322,0	18,7+1,9 GWh	15,9+2,1 GWh	415,0	384,0	79	74
Total Repsol Petróleo	1.966,8	2.076,1	127,3+10,4 GWh	132,7+7,8 GWh	2.138,0	2.189,7	74	72
Petronor	567,0	585,6	28+16,8 GWh	38,3+11,2 GWh	628,0	663,0	78	73
Total Repsol Petróleo + Petronor	2.533,8	2.661,7	155,3+27,2 GWh	171,0+19,0 GWh	2.766,0	2.852,7	75	73

los agotadores de nafta pesada, queroseno y gasóleo atmosférico.

- Incrementando la capacidad y eficiencia de dichas torres.

- Instalar nuevos intercambiadores de calor en el tren de precalentamiento de crudo.

- El esquema del proyecto se muestra en la figura 3. Permite aumentar el calor extraído a la torre en los reflujos circulantes de diesel ligero y diesel pesado, así como del crudo reducido, y elimina la restricción en la capacidad térmica del horno.

Los resultados han respondido a las previsiones, la unidad modificada entró en funcionamiento en el verano de 1997. Se ha contrastado las siguientes mejoras en materia de economía energética y disminución de mermas, que se valoran en la Tabla V.

1. La temperatura de llegada del crudo al horno se ha elevado hasta 253°C, con ganancia neta de 40°C. La repercusión sobre la economía energética significa un beneficio de 240 Mpta/año.

2. La mayor eficiencia de la recuperación térmica en la torre permite evitar sobrecargas en los condensadores de cabeza, minimizando de esta forma las pérdidas de componentes ligeros hacia el sistema de antorcha.

Entre los logros no estrictamente energéticos cabe destacar:

1. La calidad del fraccionamiento

experimentó sensible mejora, estimando en 770 Mpta/año el incremento de valor añadido por este concepto.

2. Fue restablecida la capacidad de diseño de la unidad, 4,5 Mt/año, para las actuales condiciones de operación y calidades de crudos procesadas.

Refinería de Puertollano

En esta ocasión, los objetivos particulares que pretenden ser cubiertos son:

1. Reducir los “precursores de benceno en gasolinas”⁶, actuación necesaria ante las previstas nuevas especificaciones de las gasolinas europeas.

2. Maximizar la cantidad de gasóleo extraída.

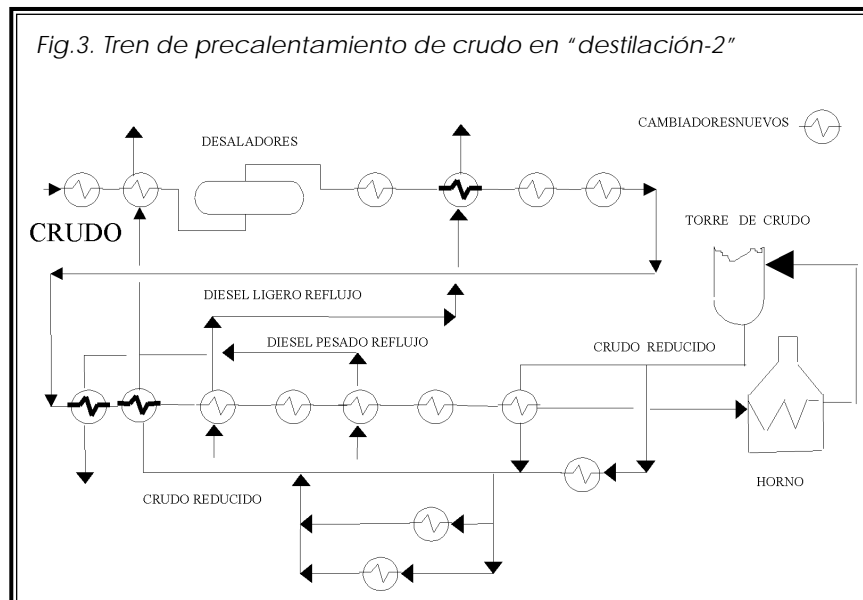
En las figuras 3 y 4 se esquematiza las principales modificaciones en la estructura de la planta, que resumimos brevemente:

- Ampliación y rediseño del tren de intercambio.

- Modificar la disposición de intercambiadores y añadir nueva superficie.

- Añadir columna destilación de

6: Bajo esta denominación se agrupan aquellos hidrocarburos presentes en el petróleo natural, que en la posterior fase de “reformado catalítico” se transforman en benceno. Ciclohexano, metil-ciclopentano y el propio benceno, son los más importantes.



Concepto	Disminución
Consumo de combustible, kg FOE /t crudo.....	3,9
Mermas, t/ mes	37,0
Consumo de vapor de agotamiento, kg / m ³ crudo reducido	15,1
Ahorro en consumos y mermas, t FOE /año	19 600

prevaporizado. (Recuperada de una planta fuera de servicio)

- Dotada de vapor de arrastre, y zona de reflujo, permite “puenteo” al horno aumentando flexibilidad de tratamiento.

- Modificación del horno de crudo
- Añadir tubos en zonas radiante y escudo.
- Modificar el servicio, de vapor a producto, en zona convectiva.

- Reducir presión de trabajo en la torre de crudo.

- A igual vaporizado, reduce la temperatura de salida del horno.

- Instalar platos más eficientes en columna de crudo.

- Redistribución de las columnas estabilizadora y redestiladora.

- La nueva configuración es más eficiente energéticamente al evitar la doble vaporización de los G.L.P.

Los resultados obtenidos han superado las previsiones iniciales, limitándonos al terreno energético, las principales cifras se resumen en la Tabla VI.

Según se anticipaba en la descripción de la modificación, la economía energética, aunque muy importante, no era el único efecto a conseguir. De la figura 4 cabe destacar el sensible aumento en flexibilidad de la planta, resolviendo limitaciones de tratamiento, particularmente importantes con

crudos ligeros, Mar del Norte, Nigeria, etc.

5.2. AUTOMATIZAR LA GESTION EN REDES DE ENERGIAS

Entre los temas típicos de la gestión cotidiana de la refinería, el control y seguimiento de las redes de vapor ocupa lugar destacado. Tal como se aprecia en la figura 5, existen diversos niveles de presión (a veces subdivididos en recalentado, para accionamiento de turbinas, y saturado, para calentamiento), cuya estabilidad está siendo alterada permanentemente por las diversas incidencias de los numerosos equipos a ellos conectados.

A medio/largo plazo, el equilibrio tiende a restablecerse por medio de los accionamientos de bombas y compresores, que con frecuencia cuentan con la doble posibilidad motor / turbina, pero de manera instantánea la actuación sobre las redes está confiada a estaciones automáticas reductoras de presión, que transfieren vapor de alta presión a los colectores deficitarios. Esta operación, necesaria para garantizar la seguridad del funcionamiento, provoca la pérdida de exergía del vapor, por lo que debe ser controlada en el mínimo nivel.

Se ofrece a continuación algunas

soluciones de distinto grado de complejidad, adoptadas en diferentes refinerías.

- Refinería de Petronor: mejora en el seguimiento de laminaciones y venteos de vapor de baja presión a atmósfera

En la planta de conversión se utiliza vapor a tres niveles de presión: 42,0 - 17,5 - 3,5 kg/cm², conectados entre sí por válvulas reductoras de presión. El colector de baja presión, 3,5 kg/cm² cuenta con un alivio automático hacia la atmósfera, que en último extremo elimina el eventual excedente de vapor, condición que se presenta sólo en situaciones atípicas. Además, el colector de media presión está conectado con las redes de las plantas de crudo e hidrotreatmento.

Para minimizar laminaciones o pérdidas de vapor, se ha instalado un gráfico que se visualiza por el operador en las estaciones de control y permite conocer en tiempo real los caudales laminados o eliminados a la atmósfera, así como su totalización diaria y la del día anterior, siendo por tanto permanente la preocupación por reducir dichas pérdidas.

A pesar de su sencillez, el procedimiento ha permitido reducir sensiblemente el tiempo de actuación ante desequilibrios en las redes, y sin prácticamente inversión se ha logrado economías millonarias. Se está pendiente de los resultados del programa piloto de la refinería de Cartagena para avanzar en este terreno.

- Refinería de Cartagena: instalación de un programa de control para optimización del funcionamiento de las redes de energías

El proyecto, comenzado en 1997, pretende controlar automáticamente las condiciones de trabajo en las redes de energía, minimizando continuamente el coste total de operación del sistema. Se pretende regular aspectos tales como:

Combustibles: Cuatro tipos, de diferentes precios y calidades.

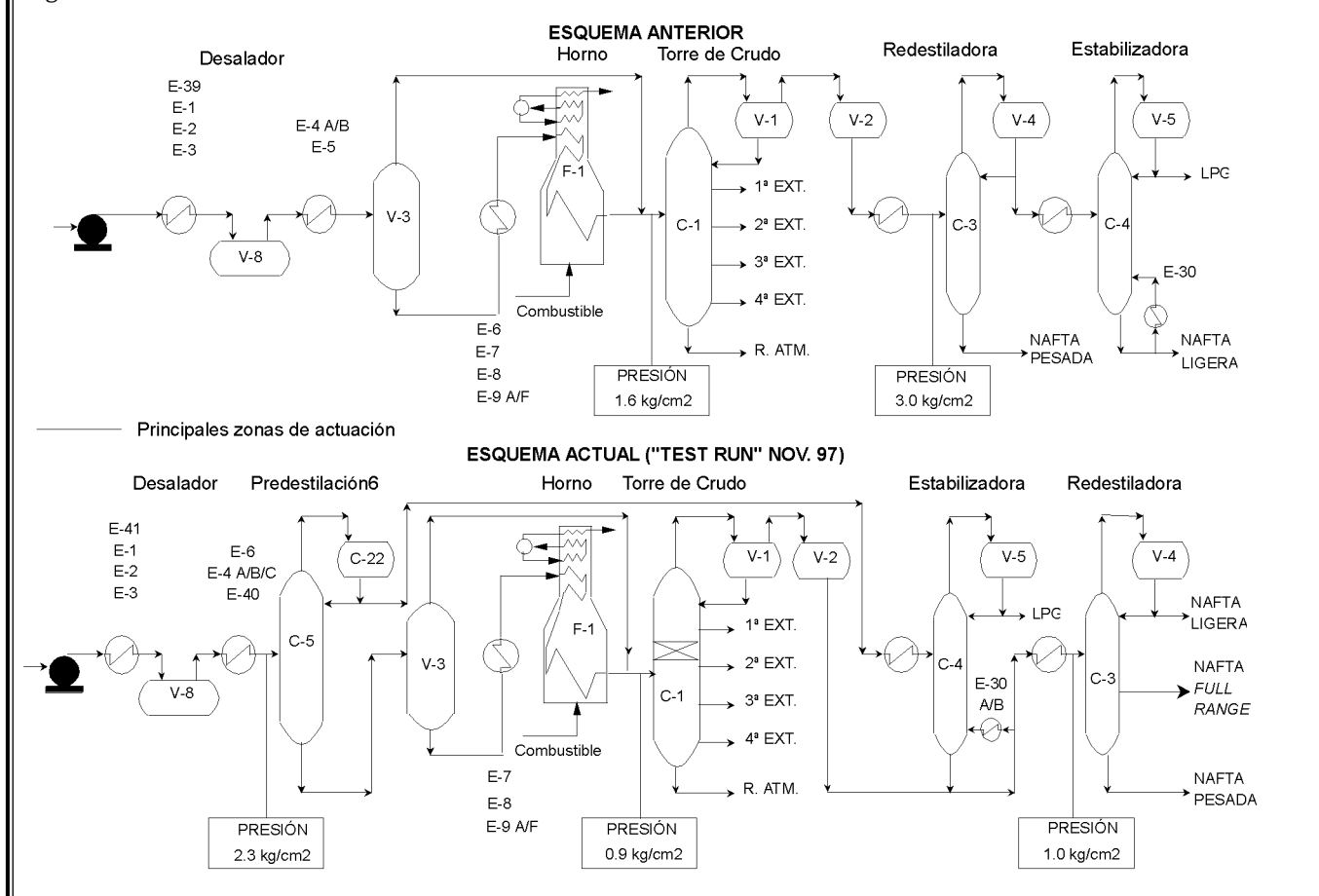
- Gas de refinería, fuelóleo de refinería, gasóleo de vacío desulfurado y gas natural

Electricidad

- Consumos, producciones por dos métodos (turbina de vapor y turbi-

	Unidades	Anterior	Modificado
Consumo horno	kg F.O.E. / t crudo	14,5	10,0
Rendimiento horno	% s / P.C.I.	90	89
Generación vapor horno	t / h	11	5
Consumo vapor planta	t / h	20	24
Ahorro total	Kt F.O.E. /año		25.000

Fig.4. Modificación en la unidad de destilación de crudo nº2



na de gas), calidad, curva horaria de carga, tarifa.

Redes de vapor

- Producciones (calderas convencionales, recuperador de la turbina de gas), equilibrio entre los cuatro niveles de presión, presión en los colectores.

Accionamiento de equipos: Variables binarias

- Selección entre motor o turbina de vapor.

La refinería tiene un esquema de energías de complejidad media, cuyas principales características se encuentran en la figura 5.

Atendiendo a la novedad de esta aplicación del control, que se traduce en escaso número de referencias de aplicación, se ha adoptado un criterio bastante conservador para el desarrollo.

En primer lugar, será implantado a título experimental en la refinería de Cartagena, y aun así, el proyecto fue dividido en dos fases:

Fase 1. Estimación de los benefi-

cios potenciales: En esta etapa se construye un modelo de simulación de la refinería para ser ejecutado en el programa NOVA⁷ propiedad de HI - Spec Solutions, compañía filial de Honeywell, con el que se pretende evaluar el orden de magnitud del beneficio a conseguir utilizando esta metodología.

Fase 2. Implantación del control en lazo cerrado: Si los resultados de la primera fase lo justifican, el mismo modelo se implantaría en línea, controlando continuamente el funcionamiento de las redes, con la estrategia de minimizar el coste total.

En el momento de redactar estas líneas (abril de 1998) se encuentra muy avanzada la evaluación de la Fase 1, cuyos resultados no se han elevado a definitivos, esperando a su confirmación con el nuevo optimizador⁸.

7: En un principio se realizó con el programa Massbal, propiedad del mismo suministrador, pero posteriormente se ha cambiado a este optimizador, de mayor robustez matemática.

Por lo conocido hasta el momento, se confirma la idea inicial en cuanto al elevado potencial de beneficios que un control de esta naturaleza puede proporcionar, aun después de depurar los resultados iniciales predichos por el optimizador. En efecto, el modelo primeramente diseñado tuvo que ser corregido para eliminar operaciones en el manejo de las redes que no sería razonable ejecutar con la frecuencia que marca el programa.

También se han confirmado las trabas para contrastar experimentalmente los resultados predichos por un modelo "Fuera de línea". La legislación española sobre tarifas eléctricas, con discriminación horaria, impone tres diferentes escenarios cada día. A esto se debe añadir los cambios en las condiciones de operación; en un principio se definieron tres estructuras bási-

8: Existen fundadas esperanzas de poder finalizar esta evaluación para los últimos días del próximo mes de mayo.

Tabla VII
Resultado de la instalación del intercambiador aire/humos

	Unidad	Modificado		Anterior
		Aire	Humos	
Temperatura entrada	° C	15	340	-
Temperatura salida	° C	195	182	345
Caudal gases	kg / hora ⁽¹⁾	26.500	28.000	28.000
Caudal combustible	kg / hora ⁽²⁾		1.500	1650
Consumo eléctrico	kWh /hora		90	0

(1): Se prevé cierta tolerancia para fugas del lado aire a humos
(2): En los últimos tiempos se está trabajando a carga superior a la del diseño, por lo que el rendimiento obtenido es ligeramente inferior, pero la cifra de ahorro total se incrementa.

Fig.5. Refinería de Cartagena: esquema de la red de vapor

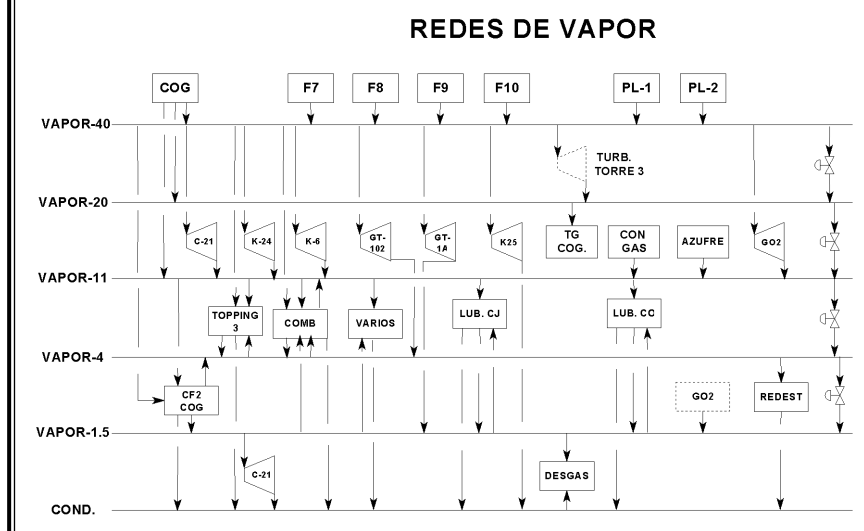
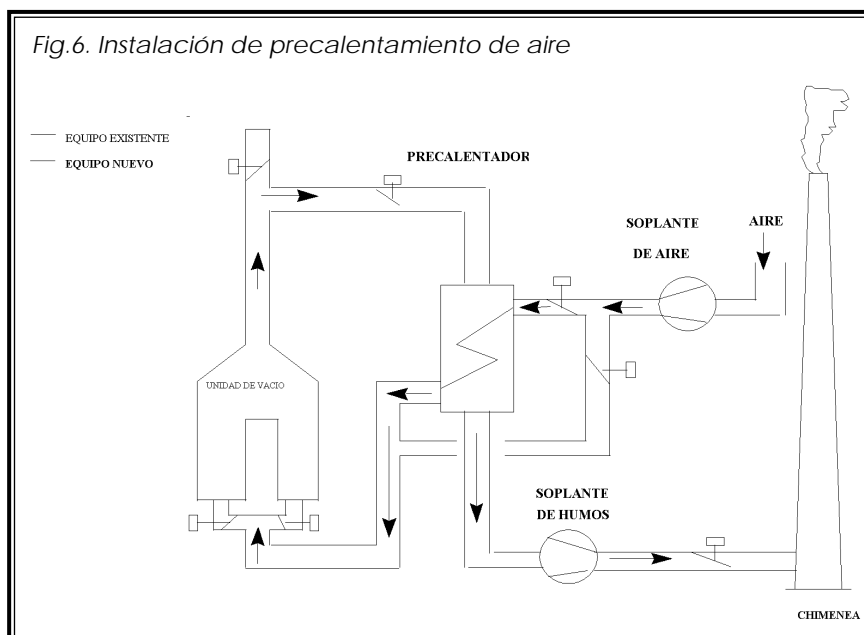


Fig.6. Instalación de precalentamiento de aire



cas para la marcha de la refinería, y lo que es más importante los continuos cambios que experimenta un esquema industrial con tal cantidad y diversidad de equipos.

No obstante, las anteriores dificultades, y después de realizar las oportunas correcciones, llevadas a cabo con criterio conservador, no parece aventurada una primera evaluación del beneficio en el rango de 50-70 MPta/año, que de confirmarse justificarían sobradamente la continuación del proyecto, sobre todo pensando en la implantación en las restantes refinerías, más complejas y de mayor consumo energético, donde razonablemente se multiplican las posibilidades de ahorro

5.3. MEJORA EN LA EFICIENCIA DE LA COMBUSTION

Posiblemente, una de las actuaciones presentes en todo programa de mejora energética, no solamente en refinerías, tenga entre sus objetivos prioritarios el aumento de la eficiencia de los equipos de combustión. La elección de este caso como ejemplo de actuación se debe precisamente al carácter general del mismo, no privativo de las refinerías y que puede ser aplicado a la práctica totalidad de los equipos de combustión. Modificaciones como la aquí comentada se han llevado o están en trance de realización en las cinco refinerías de Repsol.

En los años sesenta, el diseño económico óptimo de los hornos de proceso no maximizaba la recuperación de la energía contenida en los humos, pues el compromiso inversión / coste energético estaba claramente inclinado hacia el segundo. A lo largo de los años, probablemente las condiciones de operación de un determinado horno no sean las mismas que las que sirvieron de criterio para el dimensionamiento. Generalmente, el cambio ha ido en la dirección de disminuir la eficiencia energética, incremento de los caudales tratados y utilización de combustibles de peor calidad, con la secuela de ensuciamiento en las superficies transmisoras de calor, han sido las más usuales. La unión de ambos factores, diseño y cambio de con-

diciones, ha propiciado que no sea raro encontrar hornos funcionando con rendimientos energéticos inferiores a 80%.

- Refinería de La Coruña: Instalar un precalentador aire humos en horno de unidad modificada de vacío

En este caso concreto se trata de la reforma completa de una antigua unidad mixta destilación a vacío / *cracking* térmico, que estaba instalada en la refinería de La Coruña desde el inicio de su actividad a principios de los sesenta. A raíz de la completa remodelación llevada a cabo en 1982, con incorporación de unidades de conversión, F.C.C. y coquización, la función de conversión térmica ya no era necesaria, al ser sustituida por el F.C.C. mucho más eficiente. A causa del desequilibrio sobre las condiciones originales la eficiencia energética era muy reducida, por lo que solamente se empleaba esporádicamente la parte dedicada a destilación a vacío.

En 1995 se estudia el aprovechamiento de la unidad, para lo que se realiza un proyecto de remozamiento completo en colaboración con la empresa de ingeniería Foster Wheeler. Entre las mejoras proyectadas se encuentra recuperar el calor contenido en los humos, instalando un intercambiador aire / humos, cuyo funcionamiento esquemático se resume en la figura 6.

Los resultados obtenidos han estado de acuerdo con las expectativas, lo que no resulta extraño en toda la parte referente al circuito térmico, cuya problemática es muy conocida y la solución aportada es totalmente convencional.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] Agencia Internacional de la Energía. Estadísticas Trimestrales. Trimestre tercero (1997)

[2] Concawe Riview. Vol. 2, número 1, abril (1993)

[3] Refinery Loss Control. Manual de Curso. IBC Technical Services y SGS Redwood Technical Services.

[4] Exxon Plant Energy Conservation Guide. Exxon Research and Engineering Company.

