

### 3 Casos Prácticos.

En este apartado se van a exponer una serie de aplicaciones de las medidas anteriormente mencionadas que se han llevado a cabo en diferentes industrias.

#### 3.1 Calderas y vapor.

**Caso práctico 1:** Disminución del gasto de combustible en una caldera de carbón usando una bandeja transportadora perforada. (Nottingham Hospital).

<b>INVERSIÓN €</b>	39,500
<b>AHORRO ANUAL €</b>	13,130
<b>PERIODO DE RETORNO (años)</b>	3

Tabla 3.1. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** La sala principal de calderas del Nottingham City Hospital contiene cuatro calderas de vapor, con una producción cada una de 11,340 kg/h (100°C) y produciendo vapor saturado a una presión de 9 bar. Además existen dos calderas menores capaces de producir 1,360 hk/h de vapor cada una.

Las calderas de vapor son alimentadas mediante bandejas perforadas que, en general, son unas piezas bastante efectivas. En cambio, un diseño convencional, inapropiado en algunos casos, hace que aparezcan dos problemas cuando se opera a media o baja carga.

En primer lugar, la longitud del “lecho ardiente” decrece al reducir la carga. Esto permite que parte del aire pase por la caldera sin realizar la combustión, reduciendo la eficiencia de la caldera.

En segundo lugar, un retroceso de la llama puede ocurrir cuando la bandeja se encuentra parada por un largo periodo o si la velocidad es demasiado lenta para asegurar que la zona de ignición está contenida en la cámara de combustión. Cuando esto ocurre el carbón en el contenedor de alimentación comienza a arder. Esto se traduce en daños en la instalación y un inminente peligro para las personas y las instalaciones de la zona de calderas.

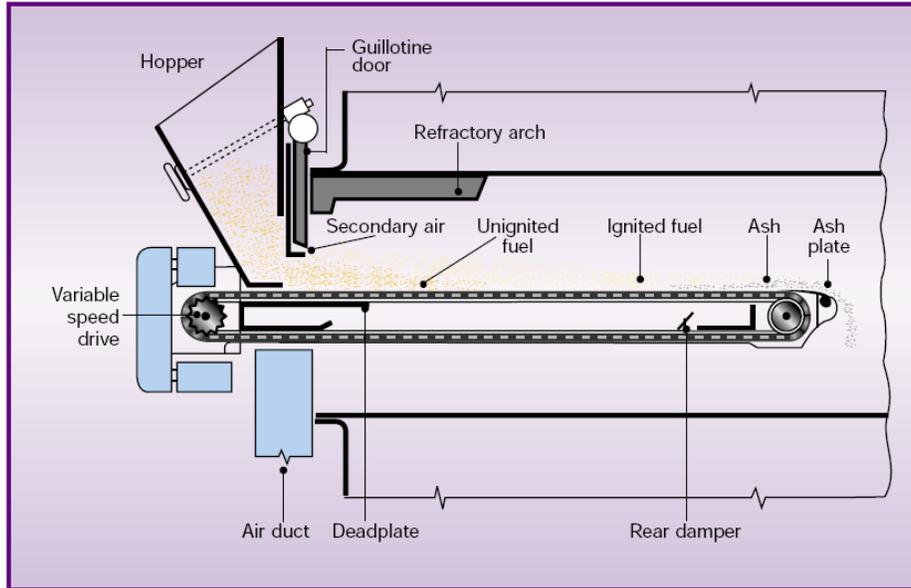


Fig.3.1. Sección de la caldera original.

Estos problemas afectaban a las calderas del Nottingham City Hospital, que tenía que operar una de las calderas a la mínima carga posible durante prolongados espacios de tiempo en los meses de verano. El hospital solucionó el problema mediante la instalación de cortafuegos y compuertas de aire motorizadas a una de las calderas principales. Mediante el incremento del ratio combustible/aire de 4:1 a 7:1 incluso manteniendo la carga al mínimo se logró un ahorro de combustible del 15%.



Fig.3.2. Caldera con cortafuegos (primer plano), y sin cortafuegos (segundo plano).

Las modificaciones que se llevaron a cabo en la caldera fueron las siguientes:

El cortafuegos de la caldera No.1 fue llevado a cabo mediante el cambio de la compuerta de guillotina instalada, por un alimentador rotativo de superior. Este proporciona un corte cada 500 mm, aproximadamente, entre el lecho encendido y el suministro de combustible. La eliminación de la compuerta de guillotina, que requería un regular mantenimiento, proporciona al operador una mejor visión de las condiciones de funcionamiento de la caldera.

Las compuertas de aire motorizadas están localizadas a hacia la mitad de la bandeja. Su posición se ajusta automáticamente para adecuarse a la velocidad de la bandeja. Cuando se trabaja a máxima velocidad, la compuerta está totalmente abierta para maximizar la eficiencia de la combustión. Cuando la velocidad es más lenta, la compuerta gradualmente se cierra en concordancia con la reducción en la demanda de vapor. Con esto se disminuye el exceso de aire en la segunda parte de la bandeja.

A la mínima velocidad de la bandeja la compuerta se encuentra totalmente cerrada.

El espesor de la cama de fuego y el aporte de combustible se regulan automáticamente mediante la variación de la cantidad de combustible que se suministra y de la velocidad de la bandeja. El espesor óptimo y velocidad del lecho son determinadas por las cualidades de combustión del combustible. La cantidad de combustible y la velocidad de la bandeja son automáticamente controladas por dos controladores independientes. Son operados automáticamente en consecuencia a una señal común que manda el sensor de presión de la caldera.

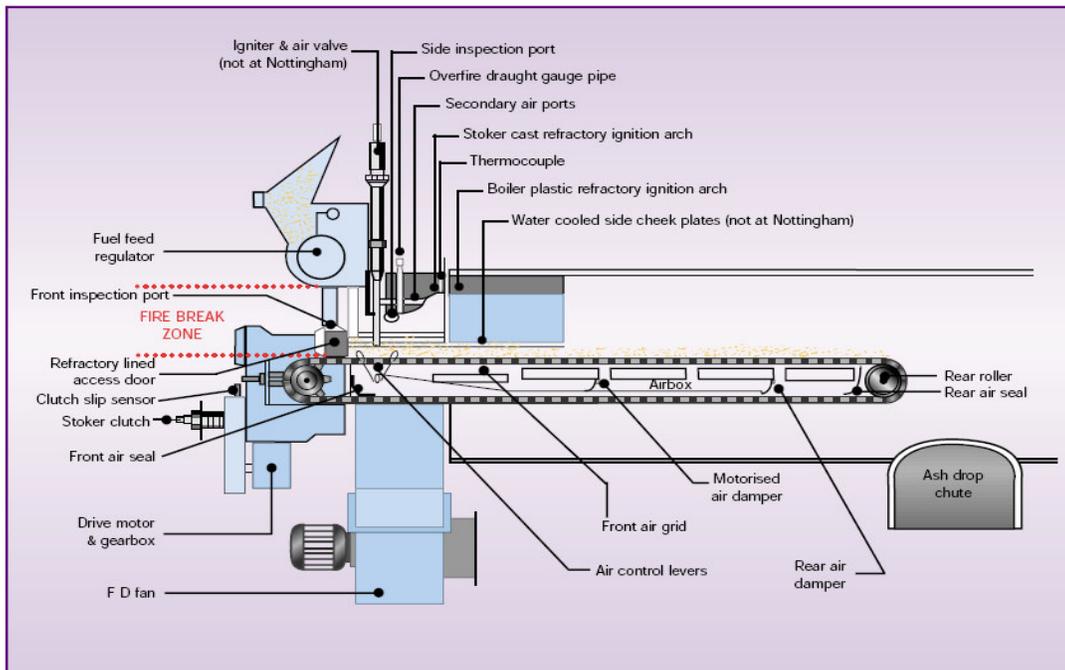


Fig.3.3.Sección de la caldera modificada.

Cuando se alcanza el límite máximo de presión, tanto el aporte de combustible como la bandeja se detienen completamente, junto con el tiro inducido por aspiración (I. D.) y el tiro forzado (F.D.). La compuerta del tiro forzado por los ventiladores se cierra pero sigue habiendo el suficiente tiro como para permitir la ventilación natural de la caldera. Cuando la presión de la caldera baja hasta un determinado valor, el suministro de combustible, la bandeja, ventiladores se accionan automáticamente y modulan su funcionamiento en función de la presión del vapor. A muy pequeñas demandas de vapor, la bandeja puede permanecer inmóvil por más de una hora. El propio calor del lecho se puede mantener durante horas sin la necesidad de volver a encender la capa de combustible.

Un control independiente del alimentador y de la velocidad de la bandeja permite detener el alimentador al mismo tiempo que la bandeja cuando esta se encuentre fuera de servicio o durante una emergencia.

Las compuertas de aire fueron instaladas durante una parada rutinaria de la caldera No.1 a finales de 1994. La unidad de cortafuegos fue instalada a principios de 1995. Tras dos semanas de funcionamiento fue necesario volver a parar la caldera No.1 por problemas en el alimentador de combustible. El problema fue reparado por la garantía en una semana y desde entonces no se ha producido problema alguno.

El funcionamiento de la caldera No.1 y de la No.2 (sin modificar) fue analizado durante cuatro semanas durante agosto y septiembre de 1995. El consumo de carbón y la producción de vapor fueron las variables a estudiar.

Las dos calderas produjeron 2,483 Tn de vapor y consumieron 296,5 Tn de carbón. Esto se traduce en una eficiencia global del 63%, basado en el poder calorífico superior. Individualmente las cargas horarias de las calderas varían desde un mínimo de 2,500 lb/h a un máximo de 20,700 lb/h con un promedio de 10,700 lb/h.

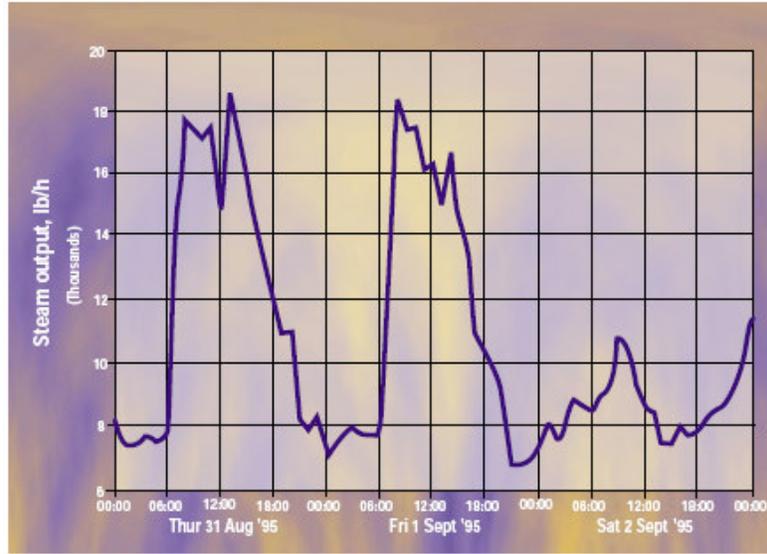


Fig.3.4. Demanda de vapor en un periodo de tres días.

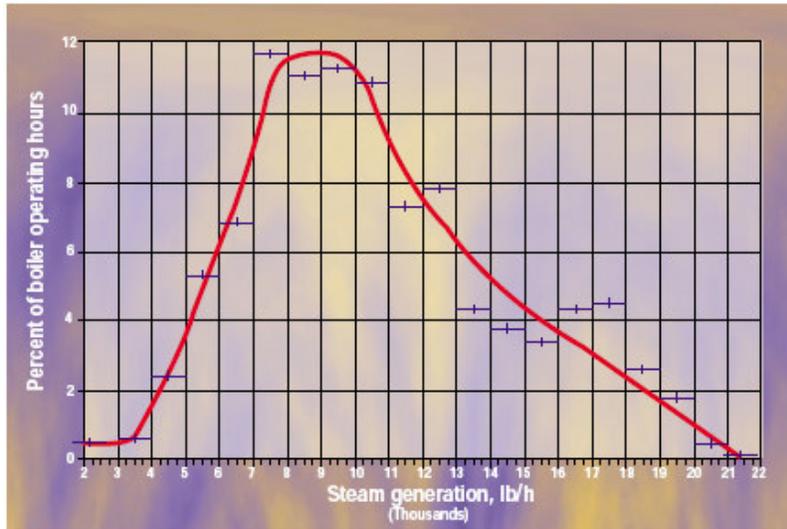


Fig.3.5. Perfil de distribución de cargas en la caldera.

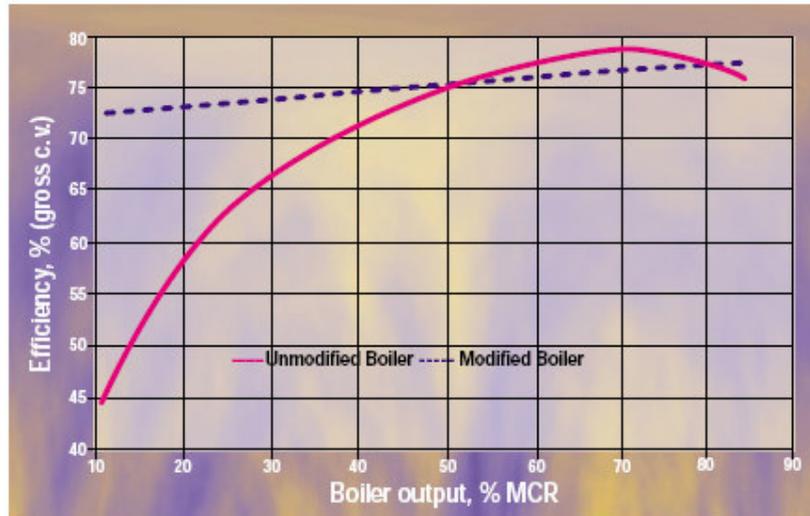


Fig.3.6. Eficiencia de las calderas modificada y sin modificar.

Los resultados muestran que mientras la eficiencia de la caldera sin modificar decrece muchísimo a carga parcial, la eficiencia de la caldera modificada mejora muchísimo su rendimiento. En una relación de 4:1 (25% de la carga) el coste de operación de la caldera No.1 era de 4400 €/h, equivalente a un ahorro del 16% en combustible.

El ahorro de combustible resultante de la modificación de la caldera fue de 9400 €/año. Además, los costes de mantenimiento se redujeron en 1400 €/año debido a la eliminación de las compuertas de guillotina. Esto proporciona un periodo de retorno de 3.6 años para una inversión de 39500 €. En cambio, si se maximiza el uso de la caldera No.1 cuando se requieren operaciones carga parcial, el ahorro de fuel puede incrementarse hasta 13,130 €, lo que supone un periodo de retorno de 2.7 años.

Debido a problemas de control no directamente asociados con el proyecto, el hospital no era capaz de obtener todas las ventajas de la operación automática de la caldera. También se obtuvo un ahorro adicional de 370 €/año en consumo eléctrico.

En lugares donde se requiere el funcionamiento de calderas a baja carga durante largos periodos de tiempo, la media de ahorro de combustible puede ascender hasta el 25%.

El coste de instalación de un equipo similar para una caldera, puede ser un 30% menor que la unidad de Nottingham y mucho menor para las calderas de nueva instalación.

El ahorro real de combustible puede ser determinado conociendo las condiciones de operación de la caldera a estudiar. Una estimación se puede realizar teniendo en cuenta las horas de operación de la caldera y la demanda

de vapor. La siguiente figura se puede utilizar para estimar el ahorro que se puede llegar a lograr.

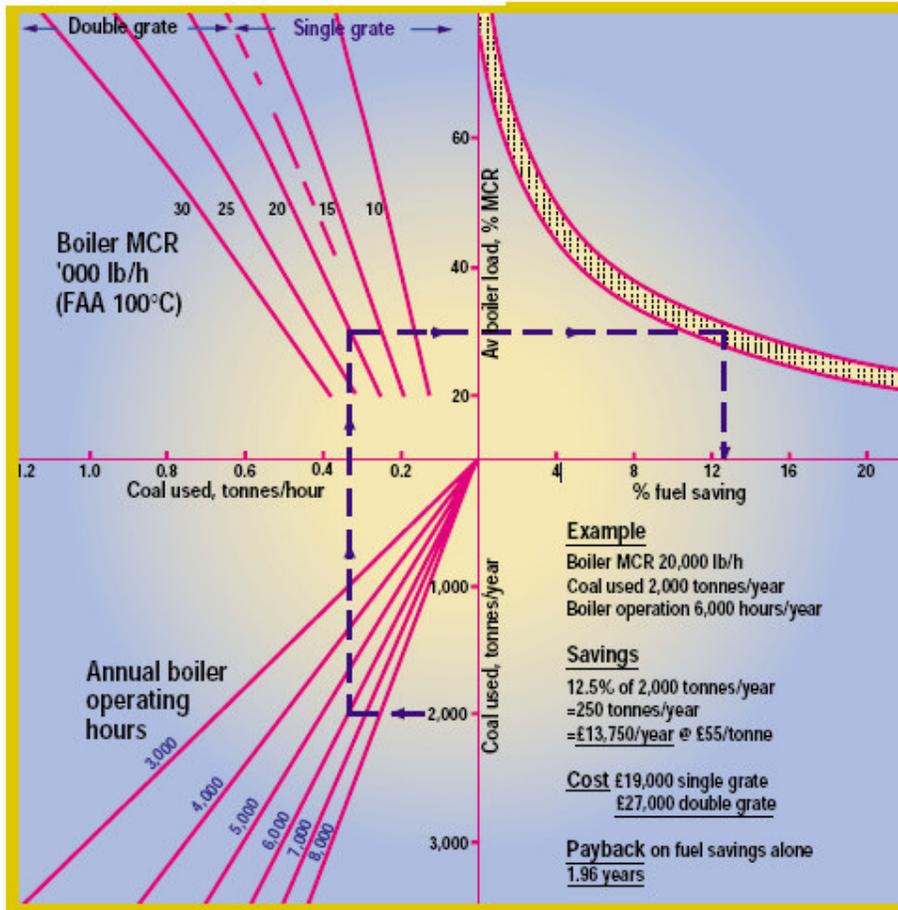


Fig.3.7. Gráfico para la estimación del ahorro energético.

Finalmente se presenta una tabla con los resultados.

lb de vapor por hora	Efic. Caldera 2	efic. Caldera 1	Coste de combust. No.2 €/h	Coste de combust. No.1 €/h	Horas/año	Ahorro combust. €/año	Coste de combust. No.2 €/año	Ahorro combust. %
2500	44.498	72.766	17.82	10.9	24	166.23	427.94	38.85
3500	52.221	73.037	21.27	15.21	36	218.24	765.77	28.5
4500	57.794	73.309	24.71	19.47	150	784.47	3706,8	21.16
5500	62.004	73.580	28.24	23.72	300	1328.67	8445.8	15.73
6500	65.298	73.852	31.59	27.92	450	1646.64	14217	11.58
7500	67.944	74.123	35.04	32.12	660	1927.2	23122	8.34
8500	70.117	74.395	38.47	36.26	696	1539.54	26777.8	5.75
9500	71.934	74.666	41.91	40.38	690	1058.32	28015.4	3.66
10500	73.475	74.938	45.36	44.47	618	547.2	28029	1.95
11500	74.789	75.209	48.79	48.53	492	131.18	24006.7	0.55
12500	75.948	75.481	52.23	52.56	412		21521.8	0
13500	76.955	75.752	55.68	56.56	341		19896.1	0
14500	77.875	76.023	59.1	60.53	287		16959.6	0
15500	78.554	76.295	62.61	64.47	244		15280.5	0
16500	78.688	76.566	66.54	68.4	200		1331.3	0
17500	78.277	76.838	70.95	72.28	160		11352.9	0
18500	77.321	77.109	75.93	76.14	120		9112.6	0
19500	75.820	77.381	81.62	79.97	80		6529.2	0
20500	73.744	77.652	88.2	83.78	40		3527.73	0
21500					0		0	0
22500					0		0	0
Al 50% MCR					4116	9348	158424	5.9
total					6000	9348	275006	3.4

Tabla 3.2. Ahorro de combustible.

**Caso práctico 2:** Ahorro energético en calderas de agua caliente mediante la instalación de unas compuertas de tiro. (Bloxwich Hospital, Walsall).

AHORRO DE COMBUSTIBLE %	12
REDUCCIÓN DE EMISIONES CO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub> %	12
AHORRO ANUAL €	1,460

Tabla. 3.3. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** Bloxwich Hospital es un pequeño hospital formado por dos edificios de ladrillo visto de tres plantas cada uno. El agua caliente y la calefacción de habitaciones se realiza mediante la circulación de agua caliente a baja presión (LPHW). El sistema está representado en la siguiente figura.

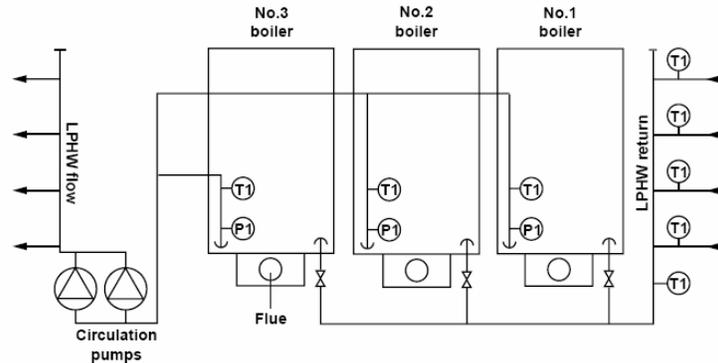


Fig.3.8. Sistema de LPHW.

En una habitación de la segunda planta se encuentran instaladas las tres calderas con un potencia cada una de 300 kW. El combustible de las calderas es gas natural, con un gasto de 915 MWh/año, que supone un coste de 11390€.

En una instalación de este tipo lo más importante es tener una fiable producción de LPHW, siendo necesario que las tres calderas estén disponibles para una inmediata producción de agua caliente en un momento determinado. El funcionamiento de las calderas es supervisado por un controlador que determina la secuencia en que las calderas deben ponerse en marcha. El control del quemador es muy simple: off/poca llama (la justa para empezar a quemar)/potencia total (no es posible la modulación de la llama). Normalmente la caldera principal se encuentra en servicio, ajustándose mediante un control termostático. La segunda caldera se pone en marcha cuando la caldera principal no es capaz de abastecer la demanda de LPHW que hay en el sistema. La tercera caldera está siempre disponible, pero rara vez se requiere su utilización.

Este modo de trabajar supone que a lo largo del año, como media, alrededor del 80% del tiempo una caldera se encuentra en stand-by. Cuando una caldera se encuentra en stand-by se produce un flujo de aire a través de la caldera producido por una convección natural proveniente de las superficies calientes en el intercambiador de la caldera. Este calor es eliminado del LPHW y por lo tanto se contabiliza como una pérdida, que escapa por el tiro al exterior del edificio.

The Estates Department of Walsall Community Health Trust ha reconocido que el calor perdido por encontrarse una caldera en stand-by es una de las mayores pérdidas que tienen instalaciones como las del Bloxwich Hospital donde el suministro de LPHW es primordial. En 1994 la Fundación comenzó a hacer acopio de compuertas de tiro automáticas que son fabricadas en USA por Flair Internacional Corporation y suministradas al mercado del Reino Unido por Energy Matters. Un estudio inicial hecho por Energy Matters indicaba que

se podía conseguir un ahorro energético de un 10% mediante la instalación de las compuertas de tiro automáticas en las tres calderas.



Fig.3.9. Compuerta de tiro automática.

En este caso de estudio se evalúa el beneficio de la instalación de compuertas de tiro automáticas en las tres calderas de agua caliente en el Bloxwich Hospital.

La única manera de prevenir las pérdidas de calor en calderas debido a la convección natural, cuando estas se encuentran en stand-by, es la instalación de compuertas de tiro automáticas. El concepto de fiabilidad es importante, es decir, ¿podría no abrirse la compuerta cuando la caldera comience a trabajar a plena carga? Existiría la posibilidad de que se produjese un crecimiento de gas inquemado y una mezcla explosiva o una atmósfera tóxica (monóxido de carbono) en la habitación de las calderas.

Estos problemas de seguridad son resueltos mediante una robusta construcción que consiste en la instalación de un doble interruptor que previene el funcionamiento a plena carga a menos que la compuerta se encuentre completamente abierta. El dispositivo ha sido evaluado y certificado por la American Gas Association según las normas ANSI. Actualmente no existen unas especificaciones especiales para las compuertas de tiro en UK.

Estas compuertas fueron introducidas en USA en 1974 y usadas por muchas industrias con aplicaciones de calderas de gas y fuel-oil y también en aplicaciones residenciales. Hay cientos de sitios en UK donde las compuertas han sido instaladas, incluidos edificios públicos, establecimientos comerciales e industriales. La primera instalación en UK se llevó a cabo en 1981.

Instalada directamente en el tiro de la caldera, la compuerta previene las pérdidas de calor cuando el quemador está en stand-by, evitando pérdidas de calor producidas por el tiro natural creado por el calor de la caldera.

El ahorro energético proporciona un periodo de retorno inferior a los dos años para un precio de 2,850 €.

Las compuertas han funcionado durante más de cuatro años sin ningún problema de importancia. Las reparaciones son llevadas a cabo por el suministrador de las compuertas, pero en los cuatro años de trabajo solo ha sido necesario el cambio de dos interruptores.

En la siguiente figura se muestra el consumo de gas natural de cada año empezando en Mayo de 1992. Cada año esta dividido en dos semestres, mayo-octubre (verano) y noviembre-abril (invierno). Las compuertas fueron instaladas en octubre de 1994, durante el comienzo de la segunda mitad del periodo 94/95.

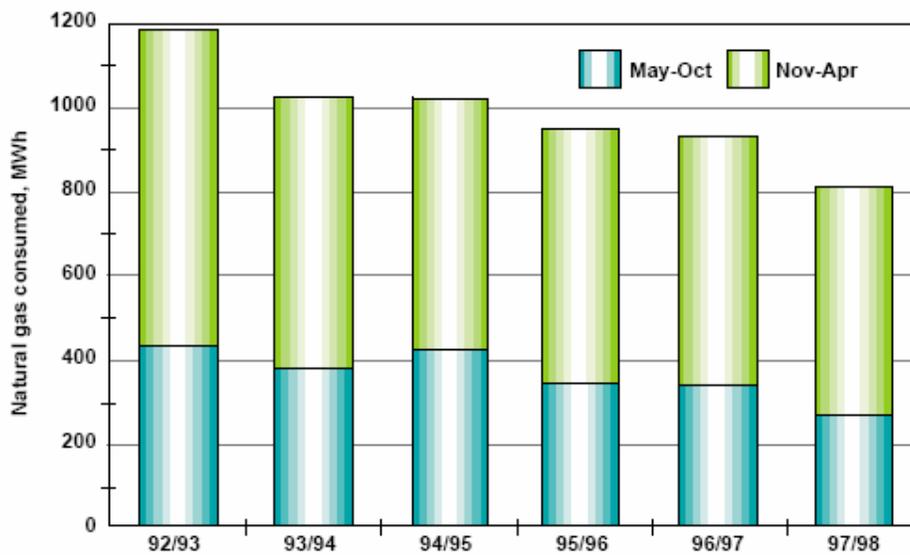


Fig.3.10. Consumo de Gas Natural.

Las horas de funcionamiento de las tres calderas fueron contabilizadas semanalmente entre octubre de 1997 y finales de abril de 1998. En la siguiente figura se ilustran las horas de trabajo semanales de cada caldera.

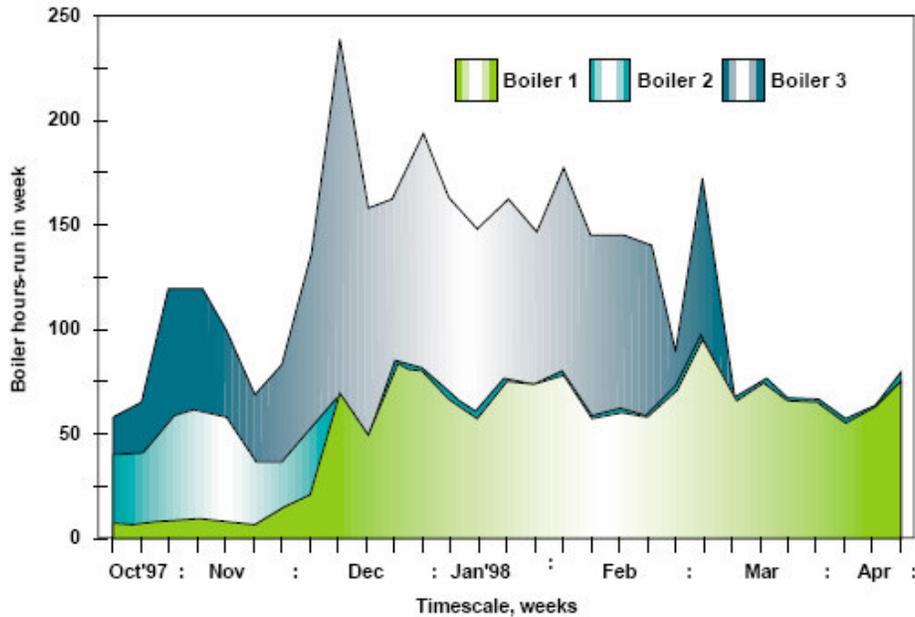


Fig.3.11. Horas de trabajo semanales de cada caldera.

Se puede observar como el máximo de horas de trabajo en una semana alcanza la cifra de 240 horas (una utilización de 47.6%) y que el mínimo es de 55 horas (una utilización del 10.9%). Permitiendo un funcionamiento de 60 horas semanales durante los restantes meses de verano se consigue una cantidad de 4,870 horas de funcionamiento anual de las tres calderas, resultando una media de utilización del 18.5%.

En la siguiente figura se muestra la media mensual de combustible consumido en kW representado como una función de los grado-día para 29 meses antes de la instalación de las compuertas y 34 meses después.

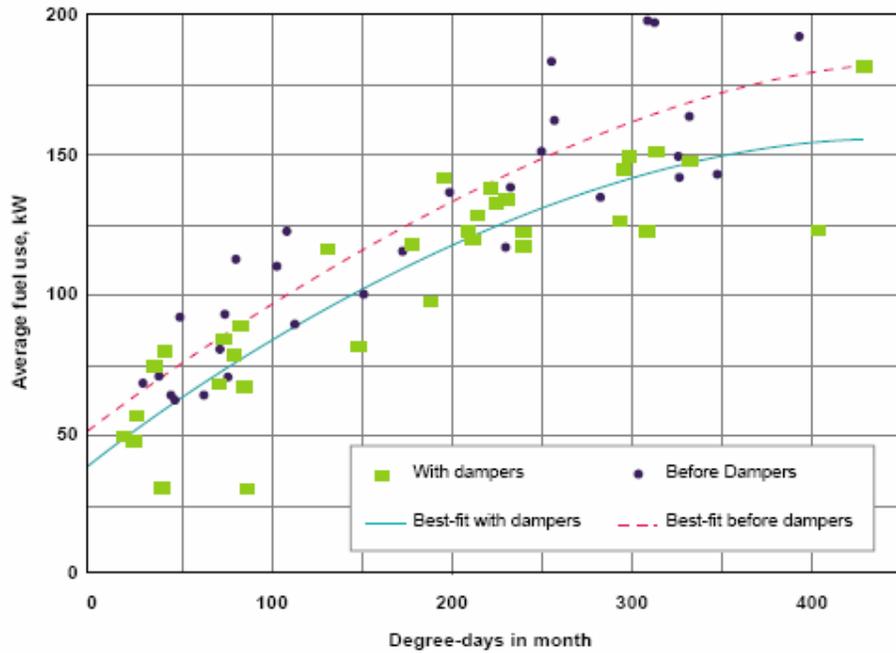


Fig.3.12. Representación del consumo de combustible.

En el corto periodo auditado, llevado a cabo hasta el 30 de abril de 1998 para evaluar las pérdidas de calor sin la instalación de las compuertas automáticas, reveló que la pérdida de calor por el tiro mientras la caldera estaba en stand-by fue de 5.2kW por caldera. El gasto en combustible requerido para reemplazar la energía perdida es de 6.4 kWh por cada hora que una caldera se encuentra en stand-by, teniendo en cuenta la eficiencia térmica de la caldera.

El ahorro de combustible es de 138 MWh (13.0%), teniendo en cuenta la variación mensual de los grado-día en el año. Un ejercicio similar usando el método 'CUSUM' de análisis indica un ahorro de 143 MWh (13.5%).

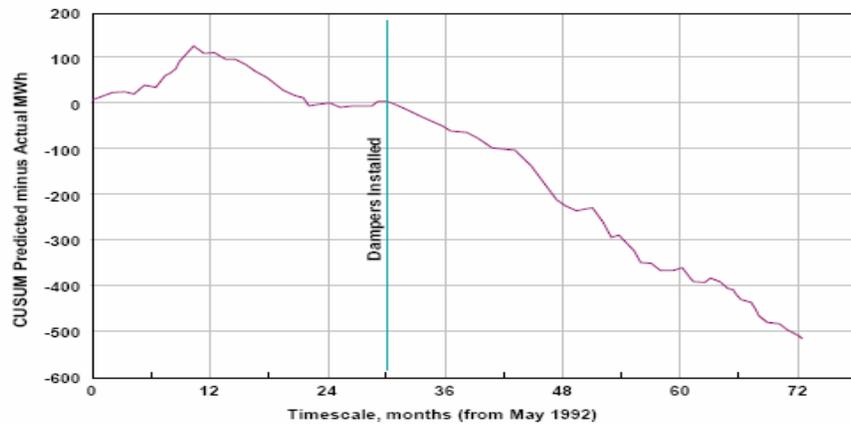


Fig.3.13. Ahorro energético estimado con el método 'CUSUM'.

En la siguiente tabla se muestra el ahorro anual basado en las siguientes condiciones: 4,870 horas anuales de caldera permitiendo 1,000 horas anuales de con la caldera parada, para mantenimiento y otros menesteres. Esto deja 20,410 horas al año de caldera en stand-by.

	Con Compuertas de Tiro	Sin Compuertas de Tiro
Horas de funcionamiento	4,870	5,539
Horas de parada	1,000	1,000
Horas en Stand-by	20,410	19,741
TOTAL	26,280	26,280
Combustible(kWh)	915,000	1,041,340
Ahorro combust. anual(kWh)	126,340	
Ahorro combust. (%)	12,13	

Tabla.3.4. Ahorro energético anual para las tres calderas.

El ahorro anual de combustible es de 126,340 kWh (12.1%). Éste resultado ha sido usado para determinar el ahorro en energía primaria. El uso de energía eléctrica adicional, requerida por el funcionamiento de las compuertas es insignificante (seis W cuando la compuerta se abre o se cierra).

Usando un factor de 1.015 para tener en cuenta las pérdidas en producción, tratamiento y distribución del gas natural, el ahorro de energía primaria resultante por la utilización de las compuertas de tiro automáticas es de 128 MWh.

La reducción del consumo de combustible resultante se ve reflejada en una reducción similar en la emisión de dióxido de carbono y de óxido de nitrógeno, como se muestra en la siguiente tabla.

	Sin Compuerta de Tiro	Con Compuerta de Tiro
CO <sub>2</sub> (Tn/año)	187.4	164.7
Reducción (Tn/año)	-	22.7
Reducción %	-	12.1
NO <sub>x</sub> (kg/año)	189	166
Reducción (kg/año)	-	23
Reducción %	-	12.1

Tabla.3.5. Emisiones a la atmósfera.

En la siguiente tabla se muestran los costes energéticos anuales con y sin la instalación de las compuertas y los ahorros obtenidos. Los costes están basados en consumo de fuel mostrados en la tabla 3.1 y un precio pagado por el gas natural de 1.24 cent/kWh.

	Sin Compuertas de Tiro	Con Compuertas de Tiro
Coste del GAS N. (€/año)	12,922	11,356
Ahorro Anual	-	1,566

Tabla.3.6. Costes y ahorro energéticos.

Algunos costes adicionales han aparecido por reparaciones, solo en dos ocasiones, siendo éstos no superiores a 300 € en total. Esto supone aproximadamente 90 €/año. El coste total del sistema de compuertas para las tres calderas supuso un coste de 2,850 €. En la siguiente tabla se muestra los ingresos anuales del proyecto y un periodo de retorno simple de 1.9 años.

Costes de Instalación (€)	2,850
Ahorro energético anual (€)	1,566
Costes de mantenimiento(€)	90
Ingresos anuales del proyecto (€)	1,480
Periodo de retorno simple (años)	1.9

Tabla.3.7. Ingresos del proyecto y periodo de retorno.

El ahorro energético es sensible al coste unitario del combustible y a la utilización de la caldera. En la siguiente figura se muestra el efecto de dichas variables en el periodo de retorno.

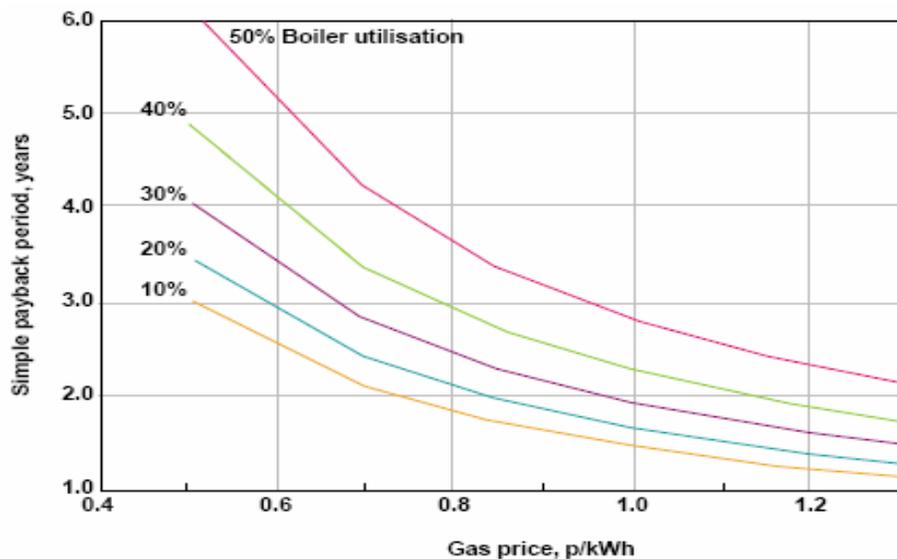


Fig.3.14. Efecto del precio del combustible y la utilización de la caldera en el periodo de retorno.

Durante los dos años precedentes a la instalación de las compuertas el precio que pagaba el hospital era de 1.75 cent/kWh. De haberse mantenido esto así el ahorro anual debido a las compuertas podría haber sido mayor de 2,220 €/año el periodo de retorno podría haber sido de 1.4 años. La utilización de las

calderas de Bloxwich es aproximadamente del 18%. Esto es un uso bajo, pero es representativo de un edificio donde el suministro de agua caliente en cualquier momento es un objetivo primordial.

**Caso práctico 3:** Ahorro energético a través de un efectivo control del tratamiento del agua de calderas.  
(Neumáticos Michelin Plc.)

<b>AHORRO ENERGÉTICO</b> €/año	17,520
<b>AHORRO COSTES DE AGUA</b> €/año	5,650
<b>AHORRO COSTES QUÍMICOS</b> €/año	6,940
<b>AHORRO COSTES EFLUENTES</b> €/año	2,044
<b>PERIODO DE RETORNO</b> (meses)	9

Tabla 3.8. Resumen del caso de estudio

**Descripción:** Neumáticos Michelin Plc tiene una política de mejora de calidad de todos sus productos y servicios, que abarca tanto la eficiencia energética como temas medioambientales. Su política, que es implementada a todos los niveles, fue iniciada por la dirección de la compañía y ofrece un apoyo total. Esto incluye una política general de concienciación del gasto energético, de la necesidad de utilizar la energía eficientemente y del impacto ambiental que tiene el uso de la energía.

La compañía tiene un sistema para monitorizar continuamente el consumo de energía y los objetivos en reducción de consumo de energía. Con esto se consigue una continua mejora año a año. Concienciación y mejora son conseguidas mediante una publicidad general, trabajo en equipo, estudios y proyectos.

Un equipo de CHP está siendo estudiado para sustituir las actuales calderas y producir vapor y electricidad muy eficientemente.

Las calderas de generación de vapor, y el sistema de distribución del mismo, siempre han sido objeto de estudio de eficiencia y ahorro de energía. El sistema Trasar descrito en este caso de estudio es un buen ejemplo de uno de los proyectos energéticos más exitosos de la compañía.

El grupo Michelin tiene 81 fabricas en todo el mundo, cuatro de las cuales se encuentran en UK como empresas subsidiarias del grupo, Neumáticos Michelin plc. Se fabrican neumáticos para coches, furgonetas y camiones. Aproximadamente 650 TJ de combustible y 500 TJ de energía eléctrica son consumidas en cada fabrica cada año. La cantidad de vapor que se consume como promedio es de 28,200 kg/hora.

El vapor es utilizado a lo largo de todo el proceso de producción. Las etapas iniciales del proceso requieren una regulación precisa de la temperatura y, en

las siguientes etapas, los neumáticos son conformados en moldes que son calefactados hasta la vulcanización de la goma.

El proceso de vulcanizado requiere un tiempo y una temperatura específicas para asegurar que en cada molde la transferencia de calor se produzca adecuadamente y se mantenga la calidad del producto. Los moldes son calefactados mediante vapor por lo que la calidad del mismo es extremadamente importante.

Los objetivos de este proyecto fueron:

- Reducir el consumo de combustible de la caldera.
- Reducir el uso de elementos químicos.
- Incrementar el control de las reservas químicas.
- Ampliar los ciclos de concentración en las calderas.
- Reducir el uso de agua en las calderas.
- Mantener o mejorar la calidad del vapor.
- Obtener un retorno de la inversión corto.

El vapor saturado utilizado en el proceso de vulcanización es generado y distribuido a una presión de 17 bar utilizando tres calderas acuatubulares que producen 45,450 kg/hora, 23,600 kg/hora y 26,360 kg/hora. El combustible que utilizan las calderas es gas natural.

El agua de alimentación es filtrada y desmineralizada. El uso de agua desmineralizada es debido a que la totalidad de los TDS se deben a la adición de sustancias químicas para el tratamiento.

Los objetivos básicos del tratamiento del agua es mantener unas condiciones ligeramente alcalinas para controlar la corrosión y mantener a cero la dureza del agua, para minimizar así la formación de precipitados.

Si existen condiciones ácidas en la caldera, el agua puede proporcionar el electrolito requerido para una acción corrosiva. El agua puede volverse ácida debido a la existencia de gases disueltos como oxígeno o dióxido de carbono o de sales metálicas disueltas. La corrosión de la caldera puede ser muy rápida y muy destructiva sin el correcto tratamiento del agua. La formación de capas de suciedad debido a las precipitaciones de sales suelen depositarse en ciertas superficies como en la zona de entrada de agua. Esta capa que se forma trabaja como aislante y dificulta por tanto la transferencia de calor.

La dureza del agua se refiere a sólidos disueltos en el agua que pueden provocar la formación de lodos.

- Dureza temporal. La dureza alcalina es debida a los bicarbonatos de calcio y de magnesio. Estos son ligeramente alcalinos y se descomponen para formar dióxido de carbono y carbonatos que forman la capa de lodo.
- Dureza permanente. La dureza no alcalina es debida principalmente a sulfatos y cloruros de calcio y de magnesio. Estos son ácidos y dependen de las condiciones de las calderas la formación de lodos.
- Sales que no son duras. Estas son normalmente sales que se mantienen continuamente en disolución y no decantan normalmente durante el funcionamiento de la caldera.

El tratamiento del agua de las calderas acuatubulares ha de ser controlado muy cuidadosamente. En Neumáticos Michelin pcl, un tratamiento a base de fosfatos es utilizado para provocar la decantación de sales y se añade sulfato para eliminar el restante oxígeno disuelto, produciendo sulfato de sodio.

Para proteger las calderas y el sistema de distribución de vapor, se usa un tratamiento químico del agua. Históricamente se realizaba una operación completamente manual, siendo los operarios de las calderas los responsables de la medida de sólidos disueltos, el factor de concentración y la reserva química.

Consecuentemente era también necesario que la dosis química del agua de alimentación fuera suministrada por los operarios para mantener la deseada reserva química y las purgas de las calderas en relación a los TDS. Esto requiere un continuo análisis del agua de alimentación y un regular ajuste de las purgas.

Los ciclos de concentración requieren un control muy cuidadoso porque una sobreconcentración podría causar daños en las calderas, mientras que, si los ciclos de las calderas son cortos, una considerable cantidad de agua desmineralizada y calor son desperdiciados en forma de purgas innecesarias.

Son riesgos intolerables la formación de lodos, la generación de un vapor pobre o una alta concentración de TDS, que no pueden ser toleradas por la compañía. Por lo tanto, una concentración relativamente baja de TDS de 1,250 ppm fue mantenida para minimizar este riesgo y se realizó una purga manual para conservar esta concentración. Para mantener esta baja concentración de TDS es necesario mantener una purga relativamente alta. Con esta purga, la reserva química se mantiene mediante una concentración química alta en el agua de alimentación y así asegurar que la protección siempre sea suficiente.

El Nalco Trasar es una combinación de un “trazador” fluorescente, inerte y no volátil que se añade a un tratamiento químico para poder establecer un control y una monitorización del funcionamiento. El trazador es una combinación de una sal de un ácido orgánico fluorescente y no escapa del sistema junto con el vapor.

El estudio de la caldera y del sistema de vapor es llevado a cabo usando la tecnología Trasar, que determina el ciclo de concentración, el porcentaje de purgas y la calidad del vapor. El químico fluorescente es añadido al fosfato, en el tratamiento inhibido de la formación de fangos. Las bombas de sulfatos y aminos son esclavas de las bombas de fosfatos. De esta manera se puede controlar la inhibición de la corrosión y el condicionamiento químico del vapor.



Figura.3.15. Operario ajustando los controles del sistema Nalco Trasar.

El uso de estas unidades en el sistema asegura que las cantidades de productos químicos añadidos en el tratamiento se ajustan de una forma muy precisa a pesar de las fluctuaciones de la carga.

El sistema Trasar fue usado inicialmente para realizar un historial de las condiciones de trabajo de Neumáticos Michelin pcl. Mediante el muestreo de la caldera y del agua de alimentación se puede determinar el ciclo de concentración, el porcentaje de purgas y la calidad del vapor. Los sistemas de control automático de las purgas y del agua de alimentación fueron consecuentemente instalados. Los márgenes para los TDS y las reservas químicas de la caldera se pueden reducir consiguiendo así una disminución de las purgas y el uso de sustancias químicas.

Como base para calcular el ahorro de energía, agua y productos químicos se han utilizado las medidas de consumo de gas y el historial del tratamiento de agua.

La media horaria de demanda de vapor es de 28,200 kg/hora. Se ha calculado que la cantidad necesaria de purgas ha sido reducida de aproximadamente 1,320 litros/hora a 380 litros/ hora.

Las pérdidas de agua son reemplazadas por una entrada de agua fría filtrada y desmineralizada. Las calderas trabajan a una presión de 17 bar y las purgas son de líquido saturado a 204.3°C. El ahorro anual en gas es de 8.3 TJ que se traduce en un ahorro de 17,520 €.

El consumo de agua ha sido reducido en 940 litros/hora lo que supone aproximadamente 8,200 m<sup>3</sup>/año. Esto es muy importante porque esta reducción de agua se traduce en una reducción del tratamiento de la misma y de los efluentes generados.

Resumen de los ahorros obtenidos:

- El ahorro total de combustible se estima en 8.3 TJ que se traduce en un ahorro de 17,520 €.
- Los costes de pretratamiento han sido reducidos en 5,650 €/año.
- Los costes de tratamiento químico han sido reducidos en 6,935 €/año.
- El ahorro de costes de efluentes se estima en 2,050 €/año.

El ahorro total que se consigue es superior a 32,200 €/año. En este caso el capital invertido en el sistema Trasar es de 25,000 €. Por lo tanto el periodo de retorno que se obtiene es de 9 meses.

Adicionalmente se obtienen otros beneficios medioambientales:

- Ha habido una reducción anual de purgas de aproximadamente 8,200m<sup>3</sup>
- El ahorro del consumo de fuel se traduce en una reducción de aproximadamente 450 Tn/año de dióxido de carbono.

**Caso Práctico 4:** Aislamiento de válvulas y accesorios del sistema de distribución de vapor.  
(Jonson Matthey Catalysts).

<b>AHORRO ANUAL DE COSTES €</b>	8,590
<b>AHORRO ANUAL DE CARBÓN (Tn)</b>	29
<b>AHORRO ENERGÉTICO ANUAL (MWh)</b>	590
<b>PERIODO DE RETORNO (años)</b>	1.6

Tabla 3.9. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** Es de todos sabido que un buen aislamiento del sistema de distribución de vapor es el método más efectivo para disminuir las pérdidas calor. En cambio, el aislamiento de accesorios a veces se pasa por alto o, si se lleva a cabo el aislamiento de estas piezas, suele ser inefectivo debido a daños mecánicos o a la absorción de humedad. Un mantenimiento apropiado del aislamiento de estos componentes ofrece un excelente retorno de la inversión, incluso en tuberías de pequeño tamaño, teniendo grandes beneficios a nivel económico y medioambiental. En Jonson Matthey Catalysts se han llevado a cabo dos proyectos utilizando una envoltura aislante con los resultados anteriormente expuestos.

La fabrica situada en Haverton, cerca de Billingham, fabrica una gama de derivados orgánicos del titanio, que son usados en una gran variedad de aplicaciones para aumentar las propiedades de pinturas y tintas. Desde 2002, la capacidad de producción se ha visto incrementada gracias a la expansión de un proceso de existente.

### **Introducción.**

El vapor es suministrado a Jonson Matthey Catalysts a una presión de 20 bar. Este llega a una estación reductora de presión desde donde se distribuye a 9 bar. La tubería principal de distribución, de 20 cm de diámetro, es aérea y con salidas para cada área de proceso. El sistema de retorno de condensado sigue una ruta análoga a la del sistema de distribución.

Este caso de estudio viene al caso de la puesta e marcha de dos proyectos de instalación de nuevas y flexibles envolturas aislantes para válvulas y juntas del sistema de distribución. El primer proyecto consistía en la renovación del aislamiento existente en la distribución y en el retorno de condensado. El segundo estaba asociado al aislamiento de nuevas líneas creadas por la necesidad que impone la incorporación de nuevos usuarios del vapor.

### **Aislamiento de válvulas y juntas.**

Tradicionalmente, las válvulas y juntas han sido aisladas usando boques flexibles de fibra recubiertos de una lámina de aluminio. Esta solución se degrada con el paso del tiempo y generalmente no permite operaciones de mantenimiento sin tener que dañar el aislamiento. Si se daña el recubrimiento y entra agua en las fibras las propiedades aislantes se ven seriamente afectadas.

La alternativa más apropiada es la instalación de envolturas aislantes, que tienen las siguientes características:

- Son muy fácil de poner y quitar.
- Tiene cierres rápidos que permiten un fácil acceso para el mantenimiento.

- Son un tercio más baratos que el aislamiento convencional.



Fig.3.16. Envolturas aislantes.

### Uso de envolturas aislantes en Jonson Matthey Catalysts.

Anteriormente el aislamiento de las juntas consistía en una capa de cemento aislante que se encontraba en muy malas condiciones con grietas en el cemento, que permitían la entrada de agua en el aislamiento. Esto no solo arruinaba las propiedades aislantes del material, sino que también se convertía en un peligro porque además, el cemento ya no proporcionaba el apoyo necesario en las juntas.

En el 2002, alrededor de 350 metros de la tubería principal fue nuevamente aislada. Además la expansión de la producción supuso la instalación de 300 metros de tuberías de distribución y de condensado, 74 válvulas y 94 juntas. Para los dos proyectos, el aislamiento de las tuberías fue a base de cañas de fibras recubiertas de una lámina de aluminio y el de las válvulas y juntas se realizó con envolturas aislantes.

### Ahorros y otros beneficios.

El uso de las nuevas envolturas aislantes tiene muchas ventajas y, en muchas ocasiones, representan una alternativa económicamente viable a los sistemas de aislamiento clásicos.

Las envolturas aislantes realizan el mismo trabajo que el aislamiento de fibras, solo que tienen como ventajas la facilidad en su colocación para realizar el mantenimiento, además presentan mejores prestaciones con respecto a la aparición de humedad.

Los costes de instalación de sendos proyectos fue 6,900 € más barato que si se hubiese puesto un aislamiento tradicional.

### La red de distribución existente.

En la siguiente tabla se muestran los beneficios obtenidos por el reaislamiento de 60 válvulas y juntas de la instalación existente.

	Ahorro de Calor (W)	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro anual de carbón (Tn)	Ahorro económico anual (€)	Coste de instalación	Periodo de retorno (años)
Comparado con el equipo desnudo	69,000	690,000	33.86	10,100	7,200	0,7
Comparado con el aislamiento original (asumiendo un rendimiento del 50% por la humedad)	34,500	345,000	16,93	5,050	7,200	1,4

Cálculos basados en 60 válvulas y juntas de tuberías de 200mm de diámetro.

*Tabla 3.10. Beneficios obtenidos al renovar el aislamiento de Válvulas y Juntas.*

El calor ahorrado se ha calculado basándose en una instalación al aire libre donde corre aire con una velocidad de 3 m/s (valor que se conserva en este sitio). El ahorro final se da asumiendo que el rendimiento del aislamiento es del 50% debido a la existencia de humedad. Esta tabla no contiene los costes de la eliminación del aislamiento antiguo o el ahorro proporcionado por el propio aislamiento de las válvulas.

### **El proyecto de expansión.**

En la siguiente tabla se muestran el ahorro y coste energético del aislamiento de 74 válvulas y 90 juntas instaladas durante el proyecto de expansión. Debido a que algunos tramos se encuentran en el exterior y otros en el interior solo se contemplan las pérdidas de calor considerando que no hay aire en movimiento.

Diámetro tubería (mm)	Diámetro exterior (mm)	Ahorro de calor (W)	Ahorro energético anual (kWh)	Ahorro de carbón anual (Tn)	Ahorro anual (€)	Coste de Instalación (€)	Periodo de retorno (años)
19,25 y 32	27,34 y 42	9,870	98,700	4,85	1,450	3,110	2.15
50	60	11,740	117,400	5,76	1,710	2,920	1.7
76	89	2,730	27,300	1,34	400	540	1.4
TOTAL		24,340	243,400	11,95	3,560	6,570	1.85

Comparado con válvulas y juntas sin aislar.

Tabla 3.11. Beneficios del aislamiento de Válvulas y Juntas en el proyecto de expansión.

**Funcionamiento térmico del aislamiento de válvulas y juntas.**

En la siguiente figura se muestran las pérdidas de calor en un ambiente con el aire quieto de válvulas y juntas de 100mm aisladas y sin aislar.

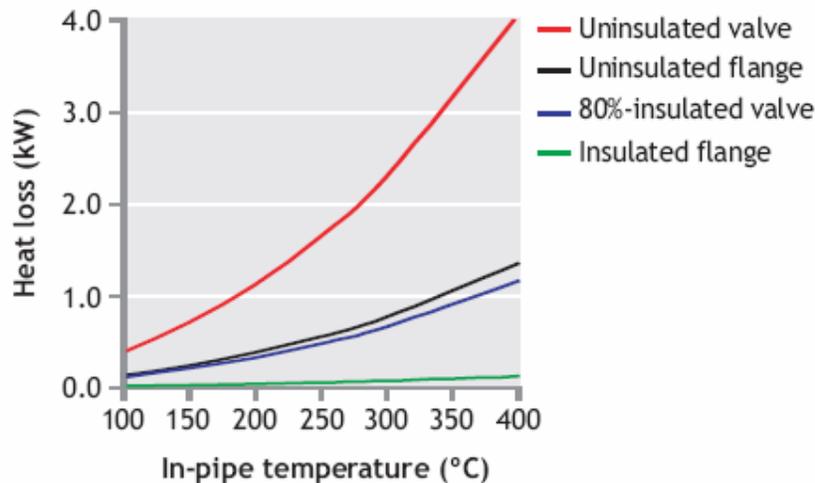


Fig.3.17. Pérdidas de calor en Válvulas y Juntas de 100mm.

Para válvulas, se asume un aislamiento del 80%, debido a que no se aísla el cuello y la rueda de la válvula.

Para estimar las pérdidas en elementos de otro tamaño se ha de aplicar un factor que se muestra en la siguiente figura.

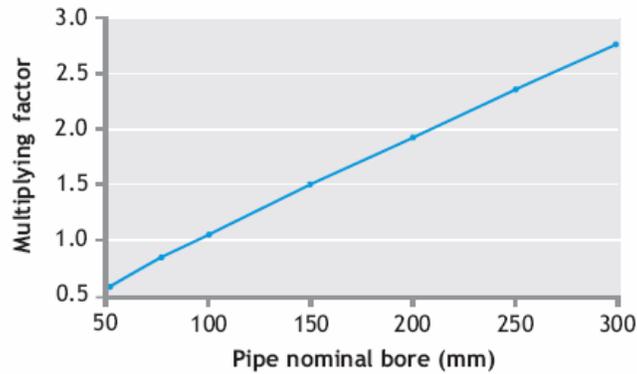


Fig.3.18. Factor de conversión para otros tamaños.

Para instalaciones que se encuentren en el exterior hay que aplicar los siguientes factores de corrección:

- Resguardado (1 m/s) → factor de 1.4
- Exposición normal (3 m/s) → factor de 2
- Muy expuesto (10 m/s) → factor de 4

Para una instalación que funcione 8,000 horas al año, una reducción de 1 kW en pérdidas de calor supone 146 €/año (asumiendo un precio del combustible de 1.46 cent/kWh y una eficiencia de la caldera del 80%). Esta reducción se traduce en una reducción en las emisiones de dióxido de carbono de 0.5 Tn al año. Aislar una simple válvula de 100 mm de diámetro que controle el vapor a 8 bar (175°C) en el interior, podría reducir las pérdidas de calor en 0.6kW. Esto podría suponer una reducción en el consumo de combustible de la caldera de 90 € anuales y un ahorro energético de 6MWh al año.

El periodo de retorno depende de las horas de funcionamiento de la instalación, el precio del combustible y de si está en el interior o en el exterior.

**Caso práctico 5:** Ahorro obtenido en una red de distribución de vapor mediante la reutilización del vapor flash y el mantenimiento de las trampas de vapor. (Colway Tyres Ltd).

<b>AHORRO ANUAL €</b>	41,500
<b>AHORRO DE COMBUSTIBLE %</b>	16
<b>REDUCCIÓN DEL TRATAMIENTO QUÍMICO</b>	80
<b>REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub> y NO<sub>x</sub> %</b>	18
<b>PERIODO DE RETORNO (meses)</b>	10

Tabla 3.12. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** Colway Tyres Ltd es una empresa líder en el recauchutado de neumáticos. El vapor es usado principalmente en el proceso de calefactado en más de 100 prensas usadas para pegar la nueva banda de rodadura al neumático.

En 1993, la caldera se encontraba bajo picos de demanda muy altos lo que propició una reducción de la presión de trabajo y finalmente dejó de funcionar. Hubo también un importante problema con el agua de alimentación, la cual, se sobrecalentaba provocando la cavitación de la bomba de alimentación y la salida de una costosa y antiestética columna de vapor flash del respiradero del depósito.

Este es un problema común cuando los usuarios condensan el vapor a relativamente alta presión y una alta proporción de condensado regresa al depósito de alimentación. La situación empeoraba, además, por las fugas de vapor vivo de las viejas trampas de vapor existentes en la red de retorno de condensados. Las pérdidas de vapor del depósito de alimentación se estimaron en 500 kg/hora, el equivalente al 19% del vapor generado por la caldera.

Para aliviar este problema, y afrontar el aumento de demanda, la decisión que se tomó fue la instalación de un sistema de recogida de vapor flash y una nueva línea de vapor de baja presión para distribuir el vapor flash a los usuarios. Esto se muestra en la siguiente figura.

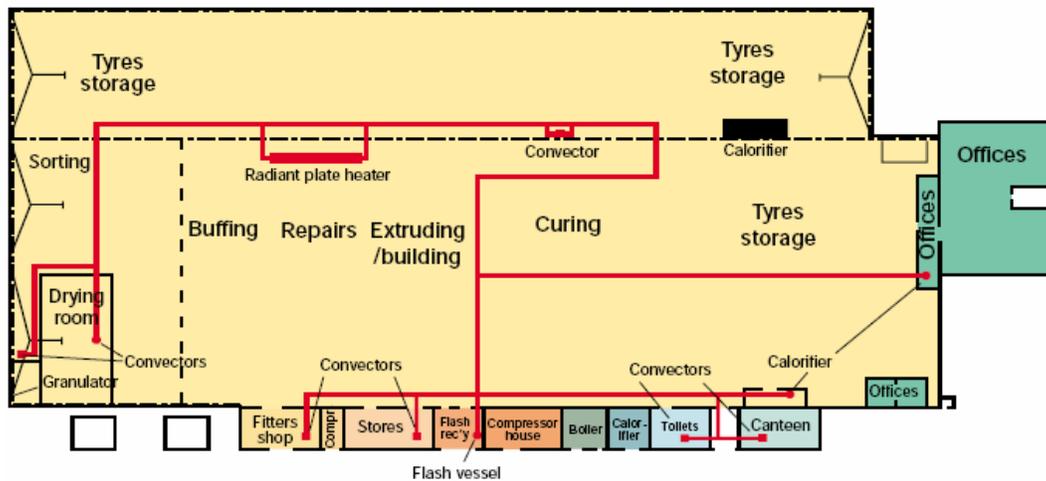


Fig.3.19. Sistema de distribución del vapor flash.

### Generación y distribución de vapor en Colway Tyres Ltd.

El vapor es generado a una presión de 8.8 bar en una caldera pirotubular con una producción de vapor de 4,500 kg/hora. El vapor es usado a esta misma presión en dos intercambiadores para generar agua caliente a alta presión (HWWP) que es utilizada para presurizar e interiormente calefactar los neumáticos en las prensas. Una buena cantidad de vapor es reducida a 4.8 bar

para ser usado como un recubrimiento para calefactar las prensas exteriormente y otros usos más.

El combustible de la caldera es gas natural pero también puede funcionar con gas-oil como segundo combustible. El gasto anual de combustible es de 16.5 GWh.

Anteriormente a las modificaciones, el funcionamiento simultáneo de muchas prensas causaba picos muy altos en la demanda cada 20 minutos, Esto provocaba una reducción de la presión y que la caldera dejara de funcionar bien.

Una costosa y antiestética columna de vapor flash del respiradero del depósito de alimentación y problemas debidos a la cavitación de las bombas de alimentación provocaron la siguiente situación:

- Casi todo el condensado era retornado al depósito de alimentación, teniendo como resultado un sobrecalentamiento y pérdidas debidas al escape del vapor flash.
- Pérdidas de vapor en el retorno de condensado en las trampas de vapor.

Además, el depósito de alimentación existente se consideraba potencialmente peligroso, debido a la corrosión, y se requería su sustitución.

La insatisfactoria situación era complicada ya que suponía un exceso de coste de 6,570 € anuales en aporte de gasoil utilizado en un calefactor de aire utilizado para suministrar aire caliente a una zona de la industria.

### **Mejoras en la red de vapor.**

Durante la primavera de 1993, la instalación de una nueva caldera supuso un drástico cambio dado que se incrementaba y mejoraba la capacidad y calidad del vapor. Las mejores introducidas fueron:

- La instalación de un sistema de recogida de vapor flash y una nueva línea de vapor de baja presión para distribuir el vapor flash a los usuarios (con esto se sustituía el calefactor de gas-oil).
- La instalación de un nuevo depósito de alimentación de acero inoxidable.
- La implementación de una revisión y un programa de sustitución de trampas de vapor en mal estado.

### Reutilización del vapor flash.

El condensado de las prensas e intercambiadores regresa ahora a un depósito flash tarado a una presión de 1.1 bar. Como se puede apreciar en la siguiente figura se han realizado modificaciones en las conducciones del sistema de distribución y se ha realizado una ampliación con nuevas líneas.

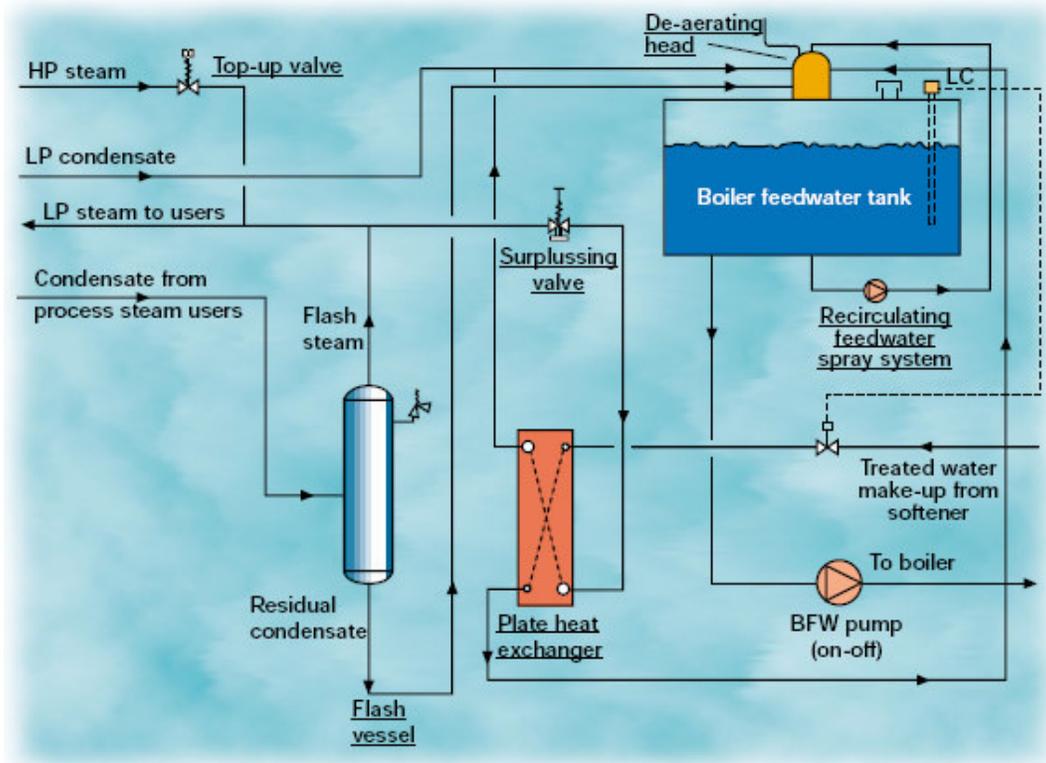


Fig.3.20. Sistema de recogida de vapor flash y tanque de alimentación.

Estas nuevas líneas alimentan con vapor saturado a:

- Una unidad calefactora, situada en una habitación seca, que ha reemplazado al calefactor de gas-oil.
- Calefactores e intercambiadores por donde previamente pasaba el vapor de la caldera, proporcionando calefacción para las habitaciones y agua caliente.

La reducción de la demanda en la caldera ha supuesto que mejore el funcionamiento de esta. El condensado proveniente de los usuarios de vapor de baja presión es ahora devuelta al depósito de alimentación. Cuando el vapor flash solo es capaz de mantener la presión en el sistema de vapor de baja presión (LP), se debe admitir el ingreso de vapor a 4.8 bar hasta llenar a tope el sistema. En cambio, cuando la presión del sistema de LP aumenta, una válvula

de seguridad permite que el vapor flash escape hasta un intercambiador de placas donde se condensa para precalentar el agua de alimentación de la caldera.

El condensado almacenado en el depósito flash se lleva al depósito de alimentación donde un sistema de recirculación:

- Se asegura de que nada del vapor flash se condensa.
- Ayuda a eliminar el oxígeno del agua de llegada.

El depósito tiene un control de nivel automático que introduce agua cuando es necesario.

#### **Sustitución de las trampas de vapor.**

El estudio de las trampas de vapor existentes reveló que en mayo de 1993, el 37% de las trampas estaban en mal estado. Consecuentemente sobre 100 trampas fueron sustituidas, reduciendo así, pérdidas en la instalación. La cantidad de trampas en mal estado encontradas fue elevada, pero esto no es inusual en industrias donde no se tiene un plan de mantenimiento adecuado. Típicamente, no más del 10% deberían fallar cada año, dependiendo del uso que tengan.

La instalación de recogida de vapor flash, la nueva caldera, el nuevo depósito de alimentación, el sistema de baja presión y el sistema de retorno de condensado fueron instalados en 1993 durante la parada veraniega de la industria. La instalación no supuso pérdidas de producción y estaba completamente operativa en agosto de ese mismo año.

#### **Resultados.**

Las nuevas modificaciones eliminaron la columna de vapor del depósito de alimentación, y redujo la admisión de agua fresca de 90 m<sup>3</sup> a 15 m<sup>3</sup> semanales. Las cantidades de agua tratada químicamente son similares pero lo que es más importante es que la carga de la caldera fue reducida en 400 kg/hora, lo que supone una reducción del 14%.

Con la reducción de carga de la caldera se consiguió una reducción del consumo de combustible y se aumentó los niveles de producción sin la necesidad de sustituir la caldera existente. Además los picos de demanda no alcanzan los niveles para provocar un mal funcionamiento de la caldera. Se produjo un incremento del 39% de la producción anual de neumáticos entre 1993 y 1996 debido a que:

- La producción por turno se vio incrementada debido a las mejoras de la red de vapor.

- Se pasó de cinco días y medio de trabajo a siete por semana.

El nuevo depósito de alimentación normalmente se mantiene a 95°C, y nunca se han vuelto a tener problemas de cavitación en la bomba.

La instalación de baja presión proporciona calor a una unidad calefactora ( un calefactor por convección), en una zona seca, habiendo sustituido el calefactor de gas-oil. Este antiguo calefactor proporcionaba aire caliente en algunas zonas de la industria. Esto tenía como resultado que mucho calor se perdiera a través de las ventanas y puertas.

Además, el vapor a baja presión sirve para proporcionar agua caliente en el edificio de servicios y en el edificio de oficinas. También suministra vapor a cinco unidades calfactoras en diferentes localizaciones y a un intercambiador de placas en la zona de producción. Cuando la temperatura ambiente desciende por debajo de los 6°C se hace necesaria la introducción de vapor de media presión en la red de baja presión.

Desde que se llevo a cabo el primer estudio de las trampas de vapor, se han sucedido otros tres estudios más en intervalos de 15 a 19 meses. La proporción de trampas de vapor en mal estado ha disminuido considerablemente con respecto al primer estudio.

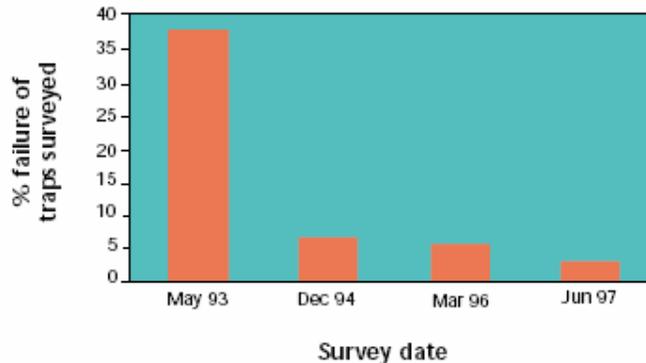


Fig.3.21. Porcentaje de trampas en mal estado en cada revisión.

### Costes, ingresos y periodo de retorno.

En la siguiente tabla se muestra el consumo anual de combustible de la industria y, donde sea aplicable, el consumo del ya inutilizado calefactor de aire de gas-oil.

	Combustible	Antes de las mejoras	Solamente con las nuevas trampas	Después de todas las mejoras
Caldera:				
Vapor de proceso	Gas	44,465 GJ/año	44,477 GJ/año	44,840 GJ/año
Vapor de calefactado	Gas	795 GJ/año	795 GJ/año	-
Calefactor Gas-oil:	Gas-oil	1,340 GJ/año	1,340 GJ/año	-
<b>Total Combustible</b>		46,600 GJ/año	46,612 GJ/año	44,840 GJ/año
<b>Ahorro de Comb.</b>				
GJ/año			7,828	8,986
MWh/año			2,023	2,496
Ahorro (%)			13.53	16.69

Tabla.3.13 Usos u ahorro de combustible.

La pequeña cantidad de fuel requerido por la caldera en cada caso para proporcionar calor en los meses fríos está excluido de este estudio. Aunque la recogida de vapor flash y la renovación de las trampas se llevaron a cabo por las mismas fechas los resultados se presentan por separado.

La mayoría del ahorro en combustible se debe a la renovación de las trampas de vapor y en menor proporción a la instalación de recuperación de vapor flash y la red de vapor de baja presión.

El ahorro de combustible, según los precios de 1993/94, fueron de 32,000 € anuales, el ahorro en tratamiento del agua de la caldera supuso 9,500 € al año, haciendo un total de 51,500 € anuales. En 1997 los niveles de producción y el ahorro en combustible fueron de la misma magnitud.

El coste total de la implantación del proyecto fue de 51,800 €. Excluyendo un gasto inevitable de 17,230 € en reemplazar el depósito de alimentación de agua, el coste de las mejoras fue de 34,570 €, por lo que se obtiene un periodo de retorno de 10 meses.

<b>Costes</b>	<b>€</b>
Coste del proyecto ( sin depósito)	34,570
<b>Ahorro y periodo de retorno</b>	<b>€</b>
Ahorro energético	32,000
Ahorro de tratamiento de aguas	9,500
Ahorro anual del proyecto	41,500
Periodo de retorno (meses)	10.0

Tabla3.14. Ahorro y periodo de retorno.

La renovación de las trampas de vapor supuso un ahorro de 30,600 € frente a un gasto de 8,000 €, lo que supone un periodo de retorno de 3 meses solamente. El sistema de recuperación de vapor flash y las líneas de baja presión suman en el balance de costes 26,575 € y producen un ahorro anual de 10,850 €, con un periodo de retorno de 2.5 años.

### 3.2 Aire comprimido.

**Caso práctico 6:** Reducción de pérdidas mediante la instalación de trampas de condensado drenadas electrónicamente.  
(GNK Sheepbridge Stokes Ltd.)

<b>Ahorro energético anual €</b>	4,380
<b>Periodo de retorno (meses)</b>	8

Tabla 3.15. Resumen del caso de estudio.

- Bajos requerimientos de mantenimiento.
- Apropiado para cualquier instalación de aire comprimido.

**Descripción:** GKN Sheepbridge Stokes Ltd, en Chesterfield, es una gran industria encargada principalmente en la fabricación de cilindros para automóviles, autobuses, camiones, transporte marítimo, etc.

El proceso de fabricación de los cilindros requiere el uso de aire comprimido para la instrumentación, control y medida.

Las 24 horas del día, seis días a la semana los tres sistemas medidos consumen 42.48 Nm<sup>3</sup>/min de aire comprimido, lo que supone un coste anual de más de 124,000 €.

El ahorro de energía y el cuidado del medioambiente son dos aspectos en los que GKN hace mucho hincapié para obtener una producción lo más eficiente posible. El potencial de ahorro que tenía la instalación de trampas de condensado drenadas electrónicamente (ECDT) supuso que se realizase dicha operación.

Las ECDT han sido instaladas a lo largo de todo el sistema de distribución del aire comprimido, ahorrando energía y consiguiendo un periodo de retorno total de 14 meses.

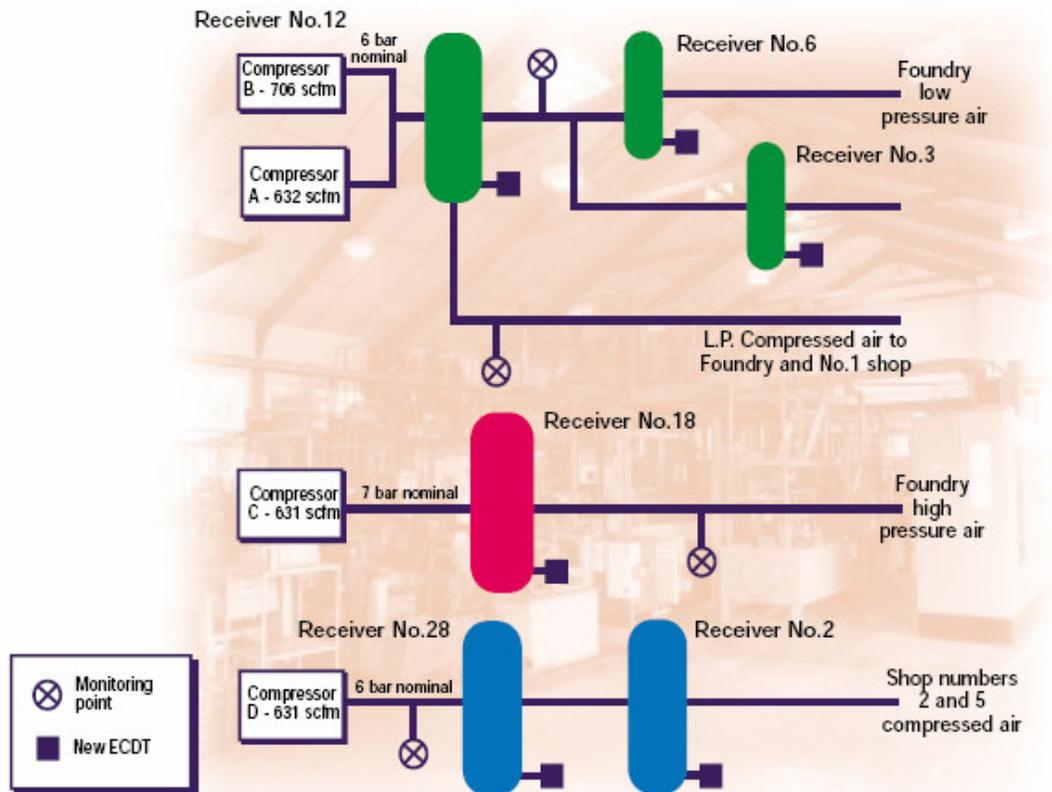


Fig.3.22. Esquema de la instalación de Aire Comprimido.

### Formación de condensado y su eliminación.

En instalaciones de aire comprimido donde el aire es tratado mediante filtración y secadores refrigerados, se produce la formación de condensado en los conductos cuando la temperatura del aire cae por debajo del punto de rocío. Como los compresores son lubricados con aceite, el condensado es una mezcla de agua y aceite.

La calidad del aire es muy importante en todos los procesos. El condensado empobrece la calidad del aire y puede conducir a:

- Que la planta sufra daños.
- Avería de la planta.
- Caídas de presión y otros problemas en la instalación.

El condensado puede ser sangrado periódicamente manualmente, lo que no siempre ofrece un buen resultado.

Dejar el drenaje del condensado permanentemente abierto puede consumir hasta un 10% de la demanda de aire comprimido, y además es muy ruidoso.

En orden de mejorar la eficiencia energética y reducir costes de aire comprimido, se instalaron las ECTD.

### Trampas de condensado drenadas electrónicamente.

Existen varios tipos de trampas que son apropiadas para la eliminación del condensado.

Las nuevas tendencias han sido la introducción de la electrónica, mediante un sensor de nivel que determina el drene de la trampa. Son trampas muy eficientes dado que no se pierde aire cuando se produce el drene.

El funcionamiento está esquematizado en la siguiente figura.

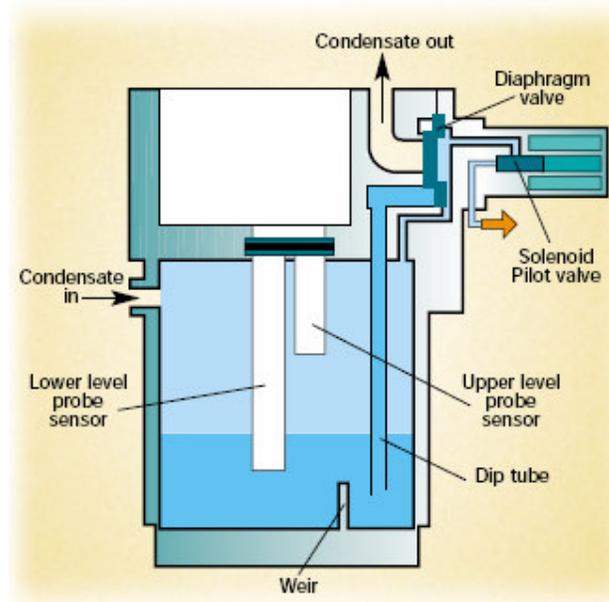


Fig. 3.23. Esquema de trampa operada electrónicamente.

La trampa se sitúa cerca de la base del depósito de aire. El condensado es drenado desde el punto más bajo de la instalación a través de un conducto que conecta con el depósito de la trampa.

La válvula de diafragma del conducto de descarga está normalmente cerrada debido a la presión del aire del depósito. Como el condensado se acumula, un sensor de nivel reconoce la necesidad de descargar el líquido y una válvula es operada. El aceite condensado es llevado hasta un separador.

La válvula de descarga solo se abre para eliminar el condensado. Cuando un cierto nivel es alcanzado de nuevo, la válvula es operada cortando el flujo.

Si algún elemento de la válvula falla, esta tiene un ajuste de drenado cíclico para evitar que el condensado se acumule.

Las ECDT instaladas en GKN eran de varios tamaños, determinados por el volumen de condensado, variando el precio entre 300 y 600 € cada una.

**Métodos de seguimiento y resultados.**

Para calcular de forma precisa el ahorro energético obtenido por la instalación de ECDT fue necesario calcular el coste de generación de aire comprimido anterior a su instalación.

En primer lugar, se determinó el consumo de aire comprimido d cada proceso. Se cuantificaron las pérdidas de las trampas y se asignó un coste a cada una. Todo esto, junto con el ahorro en costes y el periodo de retorno simple, para cada una de los seis receptores de vapor de GKN son ilustradas en las siguientes figuras.

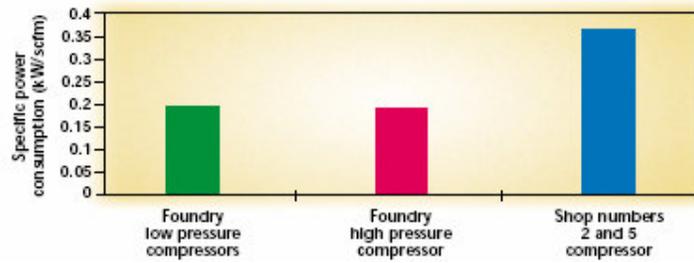


Fig. 3.24. Consumo de potencia específica de compresión.

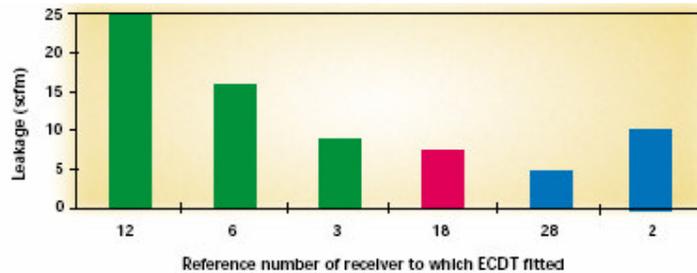


Fig. 3.25. Pérdidas de cada una de los seis receptores de vapor.

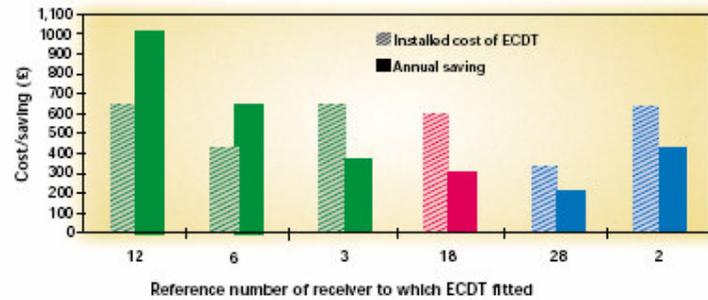


Fig. 3.26. Costes y ahorros debido a la instalación de ECDT.

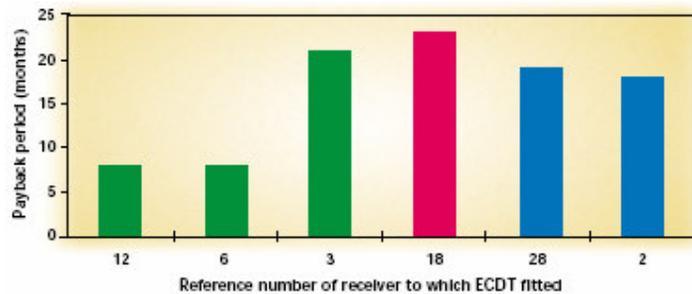


Fig. 3.27. Periodo de retorno de la instalación de ECDT.

### Resumen de ahorros.

El ahorro total eléctrico estimado fue de 74,400 kWh que supone una cantidad de 4,440 € al año. El capital invertido en instalar las ECDT fue de 5,021 €. El periodo de retorno de la instalación es de 14 meses, siendo de 8 a 24 meses para cada ECDT individual.

### Conclusiones.

El proyecto GKN ha demostrado que:

- La instalación de ECDT es una forma muy efectiva de reducir las pérdidas y costes energéticos.
- La instalación de ECDT es una inversión que tiene un excelente periodo de retorno.
- La instalación es sencilla. En muchas ocasiones la puede llevar a cabo los propios operarios de la empresa.
- Las ECDT tienen muy buen funcionamiento y requieren muy poco mantenimiento como un limpiado ocasional.
- La instalación de ECDT facilita la retirada de condensado.

### 3.3 Soplantes.

#### Caso práctico 7: Motores de alta eficiencia en soplantes y bombas. (Delta Extrusion).

<b>Coste marginal Inversión €</b>	1000
<b>Ahorro Energético (MWh)</b>	11.6
<b>Periodo de retorno (años)</b>	1.64

Tabla 3.16. Resumen del caso de estudio.

#### Coste de la inversión.

El coste marginal total entre los cinco motores de alta eficiencia y los estándar es de 1,000 €.

En cambio, algunos motores ofrecen alta eficiencia sin tener que pagar una prima.

#### Ahorro energético proporcionado.

Se consiguió un ahorro de 11.6 MWh al año.

#### Periodo de retorno.

El periodo de retorno resultante es de 1.64 años. Si se instalan motores de alta eficiencia que no tienen un precio extra, el periodo de retorno se vuelve inmediato.

**Descripción:** El objetivo del presente caso de estudio es el de demostrar el ahorro que se puede conseguir usando motores de alta eficiencia. El uso de este tipo de motores está indicado para industrias donde los motores eléctricos estén funcionando durante largos periodos de tiempo.

Los cinco motores eléctricos de Delta Extrusion fueron reemplazados por motores de alta eficiencia. Tres de ellos estaban funcionando continuamente; los otros dos durante cinco días a la semana, con tres patrones de funcionamiento diferentes.

Para poder comparar el coste de funcionamiento de estos nuevos motores con sus equivalentes tipo estándar fue necesario realizar medidas para estimar el promedio de carga a la que trabajaban. También se hizo la comparación con el coste de operación con los motores que estaban originalmente instalados.

Los motores de alta eficiencia se fabrican, generalmente, con materiales de mejor calidad que sus equivalentes estándar. Los motores utilizados en este proyecto han sido mejorados en cuatro áreas:

- Mayor longitud de laminado del núcleo para reducir las pérdidas en el hierro ( histéresis y Foucoul).
- Las pérdidas en el cobre también se han disminuido maximizando la utilización del espacio y proveyendo de generosas dimensiones en los conductores tanto del rotor como del estator .
- Las pérdidas se han visto disminuidas mediante una cuidadosa elección y diseño de los dientes de los engranajes.
- Un motor más eficiente genera menos calor por lo que el tamaño del ventilador de refrigeración se reduce. Esto hace que se consuma menos energía.

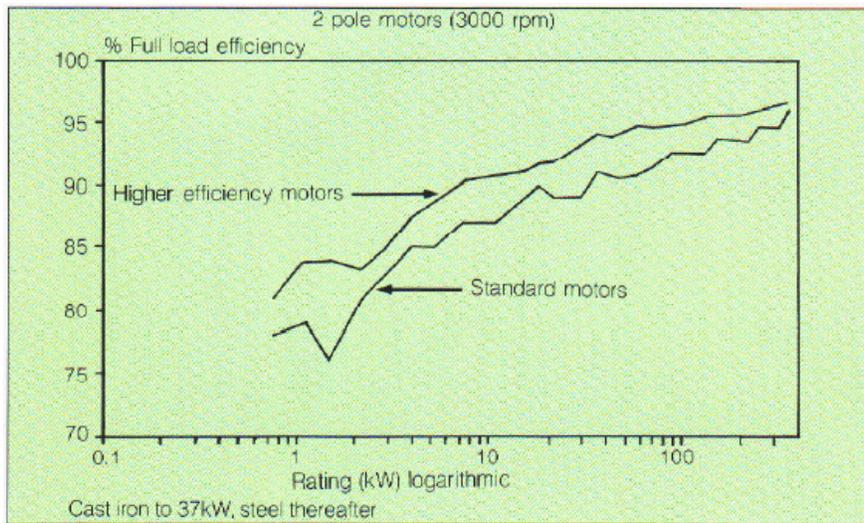


Fig. 3.28. Comparación de la eficiencia a plena carga.

**Selección del motor.**

En la siguiente tabla se describen los motores elegidos en este proyecto.

Potencia (kW)	RPM	Tamaño	Descripción de la aplicación	Horas anuales de funcionamiento.
30.0	1465	D200L	Ventilador de la cámara de recalentamiento de los gases de combustión	4704
18.5	2950	D160L	Ventilador de la cámara de recalentamiento del aire de combustión	4704
7.5	2870	D132L	Ventilador de refrigeración del horno	8760
5.5	2870	D132S	Bomba de refrigeración del horno	8760
1.1	2800	D80	Bomba del condensador del horno	8760

Tabla 3.17. Descripción de los motores utilizados.

### Instalación.

La instalación de los nuevos motores fue muy simple ya que no se tuvo que hacer ninguna adaptación en los equipos dado que son muy similares a los motores estándar. En la siguiente tabla se muestra la diferencia de costes entre estos motores y los estándar para una tensión de 440 V. Los costes de instalación no han sido incluidos porque son los mismos en que se hubiese incurrido si se hubiesen instalado motores estándar.

Los motores de alta eficiencia son un poco más grandes, pero esto no supuso ningún problema para su instalación en Delta Extrusion.

POT (Kw)	COSTE DIFERENCIAL (€)
30.0	400.0
18.5	265.0
7.5	140.0
5.5	125.0
1.1	54.0
<b>TOTAL</b>	<b>984.0</b>

Tabla 3.18. Coste diferencial en cada tipo de motor.

### Métodos de seguimiento.

El consumo de potencia de cada motor ha sido seguido mediante transformadores corrientes de quita y pon para medir individualmente la corriente de cada fase.

La medición del voltaje en cada fase permite medir la potencia aparente (kVA), potencia activa, y por lo tanto el factor de potencia.

El intervalo de medición establecido fue de una vez cada 30 minutos. Cada fase era muestreada cada segundo y las medidas se promediaban en cada periodo de medida.

El seguimiento de cada motor tuvo una duración de una semana para asegurar que se contenía el patrón completo de funcionamiento de la planta.

### Comparación con los nuevos motores estándar.

En la mayoría de los casos la instalación de motores de alta eficiencia debe de ser tenida en cuenta en nuevas instalaciones o cuando un motor ha de ser sustituido. La comparación será, por lo tanto entre motores estándar y de alta eficiencia nuevos.

Para demostrar el ahorro que se puede obtener, los cálculos se han hecho comparando los resultados obtenidos de las mediciones hechas en los motores de alta eficiencia con las fichas de los motores estándar.

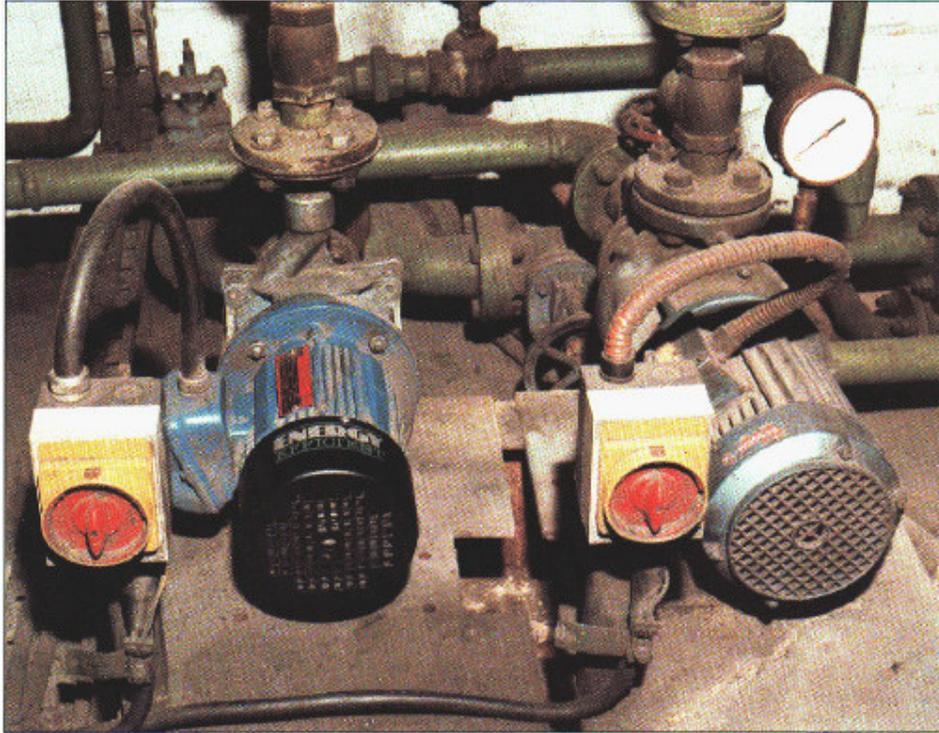


Fig. 3.29. Motor de alta eficiencia y motor estándar.

### Resumen del ahorro.

El ahorro eléctrico se traduce a ahorro económico aplicando un coste de la electricidad de 5.11 cent/kWh de promedio. Esta cantidad ha sido obtenida promediando la demanda cada media hora durante todo el año. Este promedio, por tanto, ha sido elaborado con 17,520 costes individuales de media hora e incluye costes de transmisión y disponibilidad.

Este resultado muestra cómo el mejor periodo de retorno se consigue en motores que están periodos de tiempo grandes funcionando. Es también evidente que algunos de esos motores se encuentran sobredimensionados.

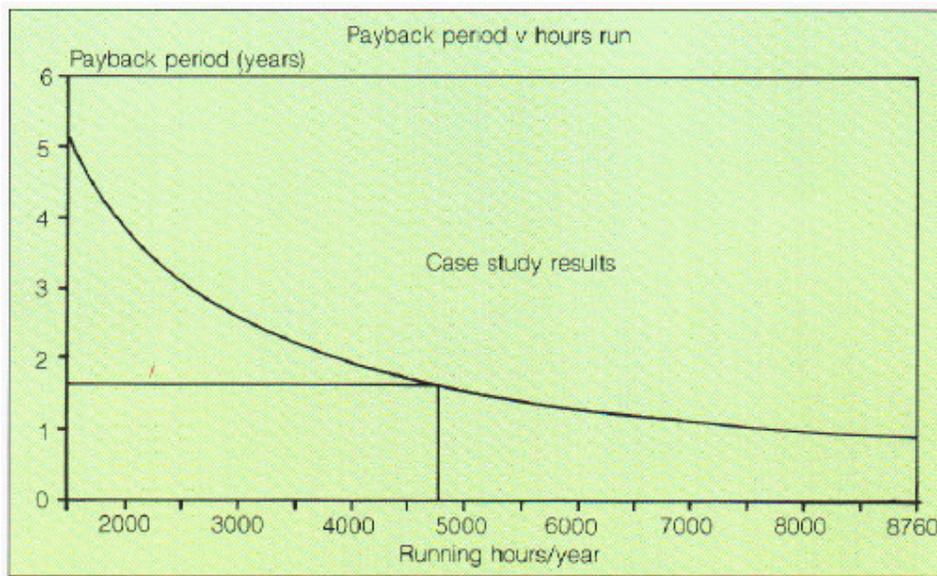


Fig. 3.30. Periodo de retorno del motor frente al nº de horas de trabajo.

También se tomaron medidas para los motores originales antes de la instalación de los de alta eficiencia. La más notable fue la de variación de carga. Como la carga variaba entre los dos periodos estudiados, debido a fluctuaciones en la producción y puesta a punto de las soplantes, el efecto de la instalación de los motores e alta eficiencia es difícil de obtener directamente, en cambio, donde las cargas de los nuevos y viejos motores coinciden, el periodo de retorno coincide muy bien con las predicciones.

POTENCIA (kW)	CARGA (%)	Horas de trabajo	Ahorro (€)	Prima (€)	Periodo de retorno (años)
30.0	49	4,704	120.0	397.0	3.37
18.5	27	4,704	161.0	261.0	1.63
7.5	87	8,760	112.0	138.0	1.23
5.5	60	8,760	161.0	125.0	0.77
1.1	77	8,760	126.0	54.0	1.2
<b>TOTAL</b>			<b>680</b>	<b>975</b>	<b>1.64</b>

Tabla 3.19. Resumen de ahorros y periodo de retorno.

**Conclusiones.**

En todos los casos el periodo de retorno obtenido por la instalación de motores de alta eficiencia en lugar de utilizar motores estándar se encuentra entre 9 meses y 3.4 años. En conjunto, el ahorro de los cinco motores fue de 680 € con un periodo de retorno de 1.64 años. Este periodo de retorno relativamente bajo también es debido a que Delta Etrusions es una gran empresa que goza de tarifas especiales de electricidad y descuentos en la compra de motores eléctricos.

En un caso general, el periodo de retorno de estos equipos suele ser mas cercano a los dos años si el motor funciona a plena carga durante periodos de tiempo grandes.

Para considerar el uso de estos motores es preciso tener una información básica como puede ser el número de horas de trabajo anual y la carga máxima a la que se va a someter al motor.

**Caso práctico 8:** Controladores de velocidad variable en extractoras de serrín.  
(Ducal Furniture).

<b>Coste Inversión €</b>	13,140
<b>Ahorro anual (kWh/€)</b>	118,800/8,500
<b>Periodo de retorno (años)</b>	1.6

Tabla 3.20. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** Ducal es la mayor fábrica de muebles de madera de pino de toda Europa. Transforman entre 300 y 400 m<sup>3</sup> de madera por semana, con lo que generan gran cantidad de desechos. Estos desechos son transportados mediante ocho extractores, cada uno de ellos operados con motores de 30 kW, que recogen la viruta y demás desechos de 28 máquinas. Anteriormente a la modificación, la extracción consumía alrededor de 40-45% del consumo eléctrico de la fábrica.

El sistema de extracción está diseñado para ocuparse de la máxima cantidad de viruta que se puede generar. En cambio, en algunas industrias, incluso cuando trabajan al máximo de su capacidad, no requieren que todas las máquinas estén funcionando constantemente. Regular la velocidad de los extractores a la carga de cada momento es muy buena medida para reducir el consumo energético.

Ducal instaló variadores de velocidad para proporcionar un control automático de los extractores. Cuando la planta operaba al máximo, esta medida consiguió reducir el consumo de energía en un 42% y mejoró el entorno de trabajo de los empleados.

En la fabricación de muebles, gran cantidad de viruta y polvo es generada y por lo tanto hay que eliminarla. Excepto en muy pocas excepciones, esta eliminación se realiza mediante un sistema de extracción. Grandes cantidades de aire son transportadas junto con las virutas hasta unos depósitos donde se separan según tamaños en ciclones y bolsas de extracción de polvo.

Aunque los sistemas de extracción están diseñados para satisfacer la máxima demanda, en algunas industrias, incluso cuando trabajan al máximo de su capacidad, no requieren que todas las máquinas estén funcionando

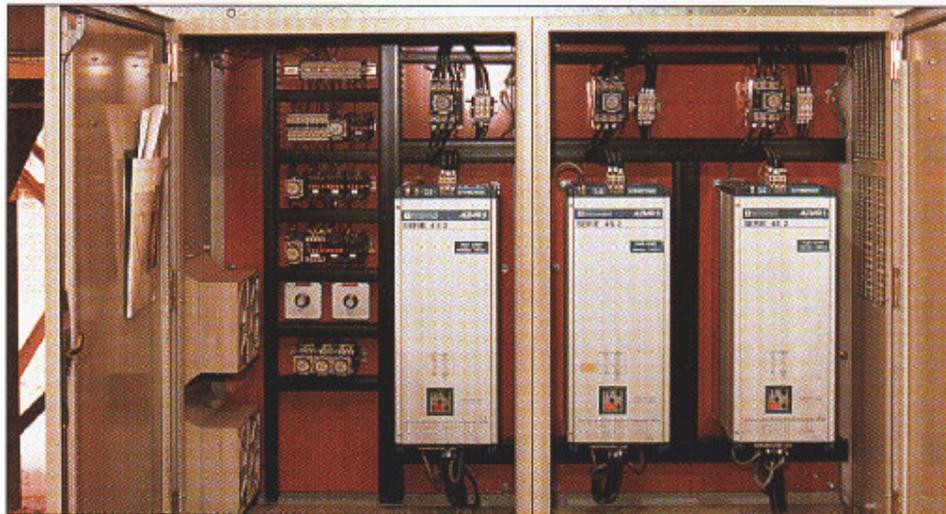
constantemente. Cuando una industria está trabajando haciendo lotes, hay periodos de tiempo en el que algunas máquinas están paradas, como por ejemplo una máquina que se utiliza solo para realizar algún acabado especial. Esto significa que el sistema de extracción no debe estar funcionando al tope todo el tiempo. A pesar de esto, es normal que el sistema de extracción esté funcionando todo el tiempo que la planta esté en marcha.

Como parte del programa de mejora de la eficiencia energética, Ducal decidió instalar controladores de velocidad variable (VSD), para controlar la instalación de extracción. Este sistema es capaz de reducir la capacidad de extracción en la instalación cuando la planta lo requiera.

### **Controladores de velocidad variable.**

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que convierte una frecuencia determinada (la de trabajo, generalmente 50 Hz) en cualquiera determinada por el usuario.

Como la velocidad del motor es proporcional a la frecuencia de la red, la velocidad del motor se controla variando la frecuencia de la corriente de alimentación. Esto consigue reducir el consumo de potencia cuando este trabaja a baja velocidad. Una pequeña reducción en la velocidad supone una considerable disminución del consumo. (una reducción de la velocidad en un 20% supone una reducción del consumo del 50%).



*Fig. 3.31. Variadores de frecuencia de 22 kW.*

### **Grupos de extractores.**

Ducal cuenta con ocho equipos de extracción, de los cuales, a tres se les hizo un seguimiento.

### Grupo 1.

Este sistema de extracción presta servicio a una línea de transporte, de gran capacidad, de la materia prima inicial controlado numéricamente. Las planchas de madera son cortadas a lo largo en secciones rectangulares que luego son planeadas por una máquina. Un extractor se dedica a extraer los restos de la operación. Estos restos son muy variables tanto en tamaño como en cantidad. Esta actividad es lo más parecido a un proceso continuo en la industria Ducal.

El variador de frecuencia es controlado mediante la medición de la entrada del transportador de tablonos y desconecta la extracción cuando no se transporta nada durante un periodo de dos minutos.

### Grupo 2.

Este sistema de extracción sirve a una sierra planeadora y una taladradora de control numérico que tienen un bajo volumen de trabajo. Las máquinas se usan para lotes cortos con mucha más variabilidad que las del Grupo 1. El variador de frecuencia es controlado mediante la medición de la entrada del transportado de madera que alimenta una sierra, desconectando la extracción cuando no pasa madera en un periodo de dos minutos. Para la taladradora, la extracción está activada cuando la máquina está funcionando. En la siguiente tabla se muestra el programa de conexión.

SIERRA	TALADRADORA	EXTRACCION
ON	ON	ON
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
OFF	OFF	OFF

Tabla 3.21. Programa de conexión de la extracción.

### Grupo 3.

Este sistema de extracción presta servicio a una lijadora y a dos máquinas de hacer chavetas en cola de milano. El esquema de trabajo es tal que incluso cuando la planta está a pleno rendimiento, alguna máquina se encuentra parada. Las máquinas de chavetas no se utilizan constantemente por lo que hay periodos en las que no hay máquinas funcionando y no se requiere, por tanto extractores. Este sistema es típico en muchas de las unidades de extracción y ofrece el mayor potencial de ahorro.

Cuando una máquina está trabajando el variador activa la extracción. Si la lijadora no está trabajando, una compuerta cierra el conducto de extracción para reducir la carga. Aislado máquinas cuando no están funcionando, se necesita menos cantidad de aire y se consiguen importantes ahorros.

Un interruptor manual adicional está instalado que permite al operario limitar la extracción cuando se están lijando pequeñas piezas, ajustando el variador a 32 Hz.

LIJADORA	TALADRADORA 1	TALADRADORA 2	EXTRACCIÓN
ON	ON	ON	FULL
ON	OFF	OFF	FULL
ON*	OFF	OFF	65%
ON*	ON	ON	65%
OFF	OFF	ON	70%
OFF	ON	OFF	70%
OFF	OFF	OFF	OFF

\* El operario elige la opción de pequeños componentes.

Tabla 3.22. Programa de conexión de la extracción.

### Instalación y puesta en servicio.

El diseño de la instalación de variadores de frecuencia fue realizada por los propios ingenieros de Ducal. En primera instancia se comprobó el resultado de la instalación con variadores prestados por el proveedor a modo de prueba. Como resultado, se confirmó la viabilidad de la utilización de variadores de velocidad y estableció que la máxima potencia podía ser reducida a 22 kW, permitiendo elegir variadores de menor coste.

Los interruptores originales fueron reemplazados por variadores de 22 kW de potencia. Las soplantes de 36", con un gasto de 15,000 m<sup>3</sup>/hora y un motor de 30 kW, fueron conservados. Los sensores de las máquinas que detectaban la necesidad de la extracción fueron relevados por un panel de control. Con un patrón de funcionamiento se determina la velocidad del motor requerida, y los variadores modifican la velocidad según las especificaciones.

Tras la prueba inicial, cada sistema ha sido puesto a punto para trabajar a una máxima frecuencia de 48 Hz, induciendo ahorro constantemente.

Los variadores de frecuencia están fabricados muy sólidamente, sin partes móviles y no más pequeñas que los ventiladores de los circuitos electrónicos. Por lo tanto estos equipos no tienen a penas mantenimiento. Durante el periodo de noviembre de 1992 hasta noviembre de 1993 el funcionamiento de los variadores ha sido perfecto, sin ningún tipo de fallos o problemas.

La velocidad óptima de los ventiladores es fácilmente programable usando variadores de frecuencia, permitiendo ajustar mucho el caudal de aire requerido en cada momento.

La baja reducción de la velocidad significa una importante reducción del ruido y mejora la estancia en las oficinas adyacentes. Además, la reducción del flujo de

aire ha provocado un mayor nivel de seguridad durante el cambio de herramienta, en el sentido de que anteriormente el aire enfriaba las manos de los operarios haciendo que estos perdieran sensibilidad.

### Ahorro energético.

La medición y seguimiento de las variables del sistema fue llevado a cabo durante periodos de cuatro a siete días, obteniendo el consumo de energía por cada grupo de trabajo, con y sin el funcionamiento de los variadores.

Se obtuvieron mejoras importantes en los tres grupos, teniendo en cuenta que la industria estuvo trabajando a plena carga durante el periodo de mediciones.

- *Grupo 1.* 36,400 kWh anuales, equivalente a una reducción del 32% → Periodo de retorno de 1.7 años.
- *Grupo 2.* 32,800 kWh anuales, equivalente a una reducción del 39% → Periodo de retorno 1.9 años.
- *Grupo 3.* 49,600 kWh anuales, equivalente a una reducción del 58% → periodo de retorno de 1.3 años.

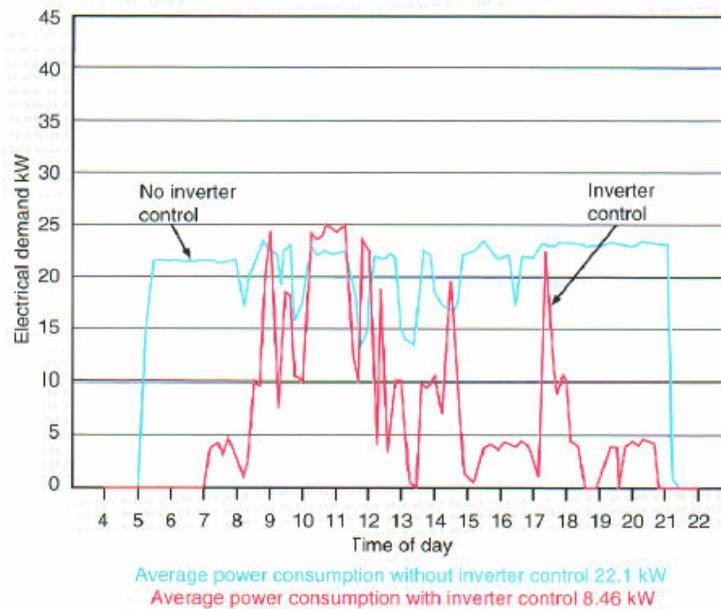


Fig. 3.32. Ahorro obtenido en el grupo 3.

### Análisis económico.

Los costes de instalación del seguimiento del proceso fue de 13,140 €. El ahorro anual energético fue de 8,470 €, por lo que se tiene un periodo de retorno de 1.6 años.

Los cinco grupos de extracción de Ducal que no fueron estudiados se consideran similares al grupo 3. En este caso, se estima que el coste total de la instalación sería de 35,000 €, produciendo un ahorro de 26,140 € y un periodo de retorno de 1.3 años.

Las medidas fueron realizadas mientras la planta trabajaba a plena carga y estaba todo el tiempo operativa. En condiciones normales de operación habría más paradas en las máquinas y el ahorro sería mayor.

En instalaciones donde hay máquinas de uso poco frecuente porque sean muy específicas o por cualquier otra razón, el uso de variadores de frecuencia está especialmente indicado, consiguiendo ahorros del 50%. Por el contrario, en casos como los del grupo 1 un interruptor operado electrónicamente ofrece un coste menor y un ahorro similar.

En Ducal, el aire de extracción es filtrado para separar los sólidos. De este modo, se produce también un ahorro en el filtrado dado que el volumen es menor.

### 3.3 Edificios industriales.

#### Caso práctico 9: Renovación eficientemente energética de edificios industriales.

<b>Ahorro energético anual €</b>	1,000,000
<b>Reducción emisiones de Carbono (Tn)</b>	2,000
<b>Periodo de retorno (años)</b>	1

Tabla 3.23. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** las mejores posibilidades para realizar medidas que mejoren la eficiencia energética de una planta es durante una reforma, dado que por un pequeño coste extra se puede conseguir ahorrar energía y dinero.

Para obtener estos beneficios es esencial que la eficiencia energética sea la base de la creación del proyecto, estando presente en cada etapa del diseño. Este proceso se describe en tres etapas a continuación:

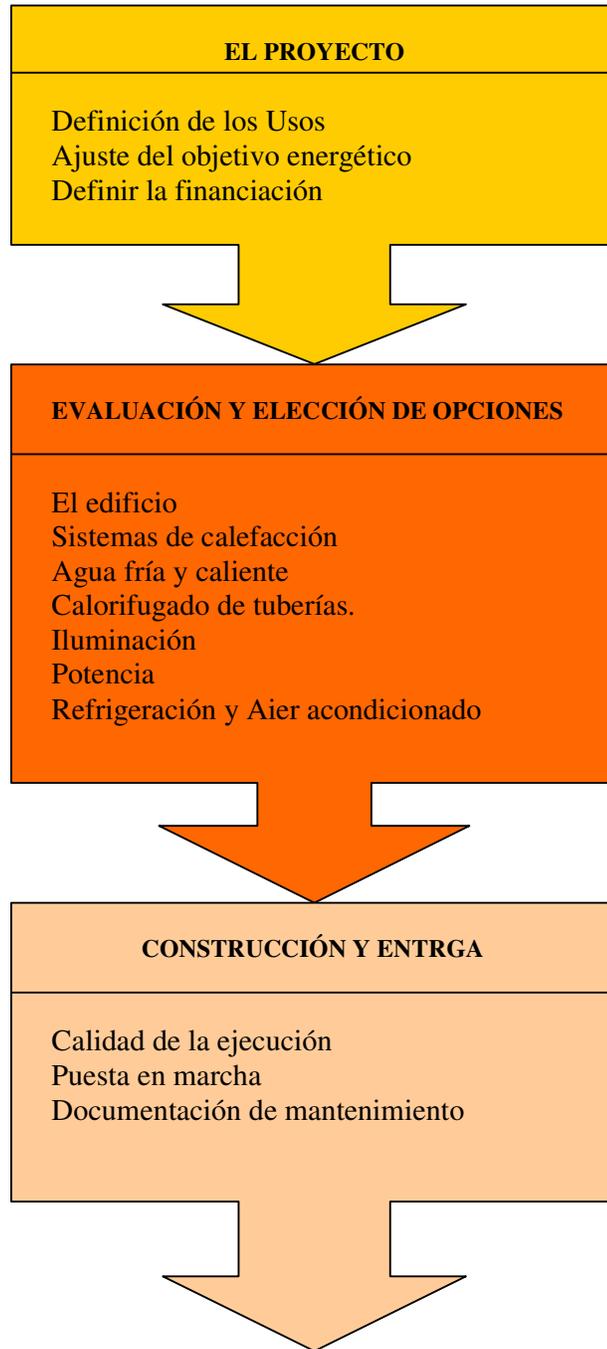


Fig.3.33. Las tres etapas del Proyecto.

**Introducción.**

Este caso de estudio demuestra como Marconi Applied Technologies, en Chelmsford, ha obtenido un ahorro anual de 1 millón de € desde que renovó su fábrica.

El compromiso de reducción de energía y su impacto ambiental ha conseguido que la empresa recibiera, en 1997, la acreditación ISO 14001 por sus sistemas de dirección medioambiental.

**Un enfoque estructurado de una renovación energéticamente eficiente.**

Marconi Applied Technologies proporciona productos de alta tecnología en todo el mercado mundial.. Hay una serie de edificios donde se producen ciertos productos que requieren de unas condiciones especiales para el proceso (salas limpias).

El edificio que proporciona estas condiciones ambientales puede consumir una gran proporción de la energía consumida por la industria. La reforma de edificios y la mejora de los servicios, debido al cambio de los usos, proporciona una excelente oportunidad para introducir medidas de ahorro energético y así mejorar la rentabilidad de la compañía. Para maximizar estos beneficios, la dirección necesita realizar un estudio claramente estructurado para renovar sus instalaciones. Esta propuesta está ilustrada en un reciente proyecto de reforma, la expansión de una existente sala limpia con construcción "T".

**Ampliación de la sala limpia.**

En 1998, un incremento de la producción precisó una ampliación de las salas limpias. Estas instalaciones son usadas para realizar chips de silicio y requieren edificios de instalaciones donde se controlan las condiciones de acondicionamiento del aire.

El proyecto de expansión de una de las salas limpias existentes tiene un coste aproximado de 817,600 € e incluye la instalación de una nueva área de carga del horno y demás estancias asociadas a dicho servicio, como almacenes y pasillos de un área total de 200 m<sup>2</sup>.

Dos importantes restricciones del diseño fueron:

- El espacio disponible para los servicios de la instalación propuesta y las restricciones de tamaño de los conductos.
- La carga térmica asociada con los hornos.

**Ajuste del objetivo del proyecto energético.**

El proyecto requería la consideración de una serie de opciones de mejoras de la eficiencia en la refrigeración, deshumidificación y ventilación. Los objetivos estaban basados en la experiencia de las existentes salas limpias, lo que proporcionó alternativas en cuanto al que tipo de equipos utilizar para las necesidades antes especificadas, teniendo en cuenta la carga térmica de los hornos y de los productos.

Como parte de su política de empresa, Marconi especificó que luminarias fluorescentes de alta eficiencia serían instaladas para proveer niveles de iluminación de 750 lux en salas A y C y de 500 lux en las demás.

**Definición del criterio de financiación.**

La compañía adoptó el periodo de retorno simple basado en el tiempo necesario para recuperar el gasto adicional provocado por las medidas de ahorro energético mediante el ahorro energético generado.

**El edificio.**

Había una serie de opciones posibles, incluyendo la construcción de una nueva instalación de salas limpias, la reforma y expansión de las instalaciones existentes y la reubicación de las instalaciones existentes para permitir la instalación de las nuevas salas limpias. Donde fuera que las nuevas instalaciones fueran localizadas requerirían el aporte eléctrico y de gas.

Finalmente se decidió optar por la reformar parte del edificio "T", un edificio existente que ya contenía algunas salas limpias. Localizar las nuevas salas limpias en esa zona permitía que los servicios comunes fueran utilizados, por lo que se minimizaron pérdidas de distribución. Esto permitió que la empresa localizara todas las instalaciones de servicios en la misma zona.

La decisión de remodelar parte del edificio "T" requería una valoración de las diferentes opciones para que los servicios requeridos por las nuevas salas limpias funcionaran eficientemente. En particular, las grandes cantidades de aire que había que mover requerían grandes conductos, que presentaban más dificultades de trazado debido a la baja altura del edificio "T". Unas consideraciones similares propició el rechazo realizar una entreplanta para colocar las unidades de aire acondicionado. La solución fue construir una habitación anexa al edificio que proporcionó un nuevo ahorro energético mandando aire a través de todo el complejo.

En las salas de mayor clasificación, el flujo del aire era vertical hacia abajo. La extracción se realiza a través de unas perforaciones que se han realizado en el suelo y que comunican con los hornos. Entonces, este aire era extraído directamente por encima de los hornos una habitación adyacente, permitiendo expulsar el calor de los hornos sin afectar al resto de la habitación. La

reutilización de este aire para acondicionar las habitaciones de horno permiten ahorrar el gasto de los ventiladores que en otro caso sería necesario para mover el aire suficiente.

### **Sistema de calefacción.**

La calefacción de las salas limpias ha sido tradicionalmente efectuada mediante la caldera central con radiadores eléctricos para las paradas de verano.

También se consideró el uso de calefactores de combustión de gas natural pero se desestimó debido a:

- El coste, comparado con el agua caliente de alta temperatura.
- Falta de confianza para conseguir un ajuste óptimo de la temperatura.
- El espacio requerido para los aparatos.

### **Calorifugado de tuberías.**

- Las tuberías de agua de refrigeración se proporcionan con un aislamiento ligero para tuberías internas, mientras que las tuberías externas están cubiertas de un encamisado impermeable.

### **Iluminación.**

La instalación de fluorescentes de alta eficiencia es muy importante desde el punto de vista de la eficiencia energética. No sólo los fluorescentes de alta eficiencia tienen muy buena calidad de iluminación y consume un 25% menos de energía, sino que trabajan a menor temperatura que las luminarias convencionales proporcionando una carga térmica menor. La luz amarilla se usa en áreas donde el proceso es sensible a la luz ultravioleta.

### **Potencia.**

La reforma de la industria iba a suponer un aumento de 11 kV en la distribución de energía. Por lo tanto era necesario reforzar la instalación, eliminando el cableado antiguo y adecuando la instalación a la futura instalación de una CHP.

### **Sistema de ventilación.**

Para asegurar los niveles de limpieza en las salas limpias, debe mantenerse una leve presurización de las salas, para evitar que entren corrientes de aire que contaminen el entorno. La demanda de aire fresco necesario para mantener estas diferencias de presiones es muy grande y variable. El complejo está dotado con dos unidades de acondicionamiento de aire destinado a la circulación edl mismo, y otras dos unidades destinadas a producir aire fresco.

Los equipos de recirculación están equipados con dos ventiladores de dos velocidades, por lo que se puede ahorrar energía funcionando a la velocidad más baja en periodos de baja ocupación y fuera de horas cuando los requerimientos son más reducidos. Algunos ahorros se consiguen también utilizando solo un equipo de recirculación por la noche.

Los dos equipos de recirculación están diseñados con ventiladores curvados hacia atrás y hacia adelante. El ventilador curvado hacia atrás es más tolerante a cambios de condiciones de operación, y tiene una eficiencia del 89% frente al 75% del curvado hacia delante.

Las unidades de producción de aire fresco están equipadas con variadores de velocidad para asegurar que aportan el aire suficiente para mantener la diferencia de presiones indicada.

### **Refrigeración y aire acondicionado.**

Los dos equipos de refrigeración cuentan con compresores de tornillo que proporcionan un buen rendimiento y fiabilidad. Los requerimientos de control de humedad pueden crear una gran demanda de energía, dado que la deshumidificación del aire fresco requiere que el aire sea enfriado hasta punto de rocío para después ser recalentado hasta las condiciones de la habitación.

La opción de menor coste hubiese sido usar enfriadores de agua en las unidades de recirculación de aire. Otra forma de realizarlo hubiese sido también usar una deshumidificación independiente e instalar una compuerta de bypass para que solo una parte del flujo fuese llevado al punto de rocío. Otra posible solución hubiera sido separar el preacondicionamiento del aire de la deshumidificación. Con esta opción el ahorro se calculaba que sería de 35,000 € anuales comparados con el uso de serpentines en las unidades de recirculación, y 11,700 € al año comparado con la opción de la compuerta del bypass.

### **Calidad de la ejecución.**

Un proyecto de esta naturaleza requiere un alto control de la calidad durante la construcción. Para conseguir esto, Marconi contrató a especialistas en la ejecución de obras de salas limpias, cuyo plan de calidad era conforme con todos los protocolos y regulaciones pertinentes. El equipo de ingenieros de Marconi realizó un seguimiento de la construcción para asegurarse de que se cumplían todas las especificaciones.

### **Puesta en marcha.**

La puesta en marcha incluía:

- Tener ajustado la calidad el suministro de agua y de aire.

- Que los controles automáticos funcionasen correctamente.
- Verificación de los estándares de limpieza necesarios.

### Documentación de mantenimiento.

Antes de entregarse la obra debe entregarse toda la documentación de las instalaciones tanto fichas como manuales de funcionamiento y mantenimiento, etc.

### Resultados.

La reducción de consumo energético se vio reducida a 5,050 kWh/m<sup>2</sup>/año comparado con las 7,858 kWh/m<sup>2</sup>/año originales. Económicamente se obtuvo un ahorro de 24,800 € al año.

Medida de ahorro	Ahorros anuales €	Coste adicional €	Periodo de retorno (años)
Separar unidades de aire fresco.	11,680	29,200	2.5
Ventiladores curvados hacia atrás	2,774	1,168	0.4
Control del volumen de aire.	2,628	5,840	2.2
Reutilización del aire de retorno	7,446	0	0.0
<b>TOTAL</b>	<b>24,528</b>	<b>36,208</b>	<b>1.5 de media</b>

Tabla 2.24. Resumen de medidas, ahorro energético y costes.

### Ahorro acumulado de energía y de costes en la empresa.

La expansión del complejo de salas limpias en el edificio "T" es un ejemplo de uno de los proyectos de reforma que se llevaron a cabo en Marconi Applied Technologies desde mediados de 1980. Tras este periodo la compañía ha seguido una estrategia enfocada hacia la mejora, expansión y consolidación de sus instalaciones, utilizando la metodología estructurada que se muestra en este caso de estudio.

Todas estas mejoras han contribuido a disminuir los costes de operación de Marconi más de 10 años. Cuando el ahorro anual estimado individualmente para cada proyecto se suma con los demás, el ahorro anual acumulado es impresionante. En 1998/99 el ahorro acumulado era de alrededor de 1 millón de € anuales, lo que supone una gran contribución a los beneficios de la empresa. Los beneficios medioambientales se traducen en la reducción de más de 2, 000 Tn de carbón anuales emitidos a la atmósfera.

Una de las dificultades de dirigir la energía en un complejo como Marconi es que la demanda de energía depende del rendimiento y de la producción. Además, los procesos productivos están en constante evolución debido a las nuevas tecnologías.

Marconi tiene unas metas de consumo para cada tipo de combustible, basado en el historial de ese combustible en la empresa y las actividades planeadas. The Central Services Department se encarga de reducir los consumos para ajustarse a estos objetivos tomando medidas desde la dirección, incluyendo la reforma y actualización de los edificios y servicios si es necesario. La empresa tiene una relación del consumo desde 1987/88, lo que permite comparar el consumo actual con la meta fijada.

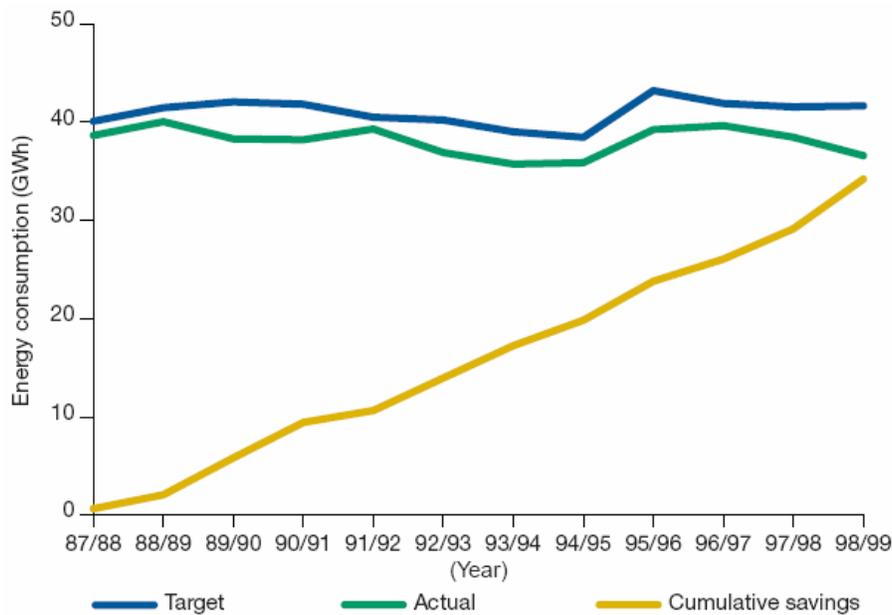


Fig. 3.34. Comparación del consumo anual con el objetivo y el ahorro acumulado anual.

El consumo anual conseguido a través de las iniciativas de ahorro energético es la diferencia entre las líneas azul y verde. La figura anterior también muestra que al ahorro acumulado en el periodo 1987-1998 es mayor de 35 GWh.

Hay algunas consideraciones importantes a tener en cuenta. En primer lugar la producción ha sido concentrada en la sede de Chelmsford, pero el consumo energético ha caído. Los objetivos de consumo fijados, bastante constantes, han llegado a ser más exigentes cuando la producción se ha visto aumentada. Incluso cuando la producción aumentaba no se sobrepasaban los límites establecidos. Esto ha sido así gracias a el ahorro obtenido por las medidas implantadas. Por ejemplo, el millón de euros de ahorro acumulado logrado en 1998/99 es debido en parte a la reducción de energía consumida de 24 GWh, equivalente a 2,000 Tn de emisiones de carbón. Sin este ahorro el consumo habría sido de 60GWh, o lo que es lo mismo, un 43% por encima del objetivo.

## Conclusiones.

Este caso de estudio muestra lo importante que es para las industrias poner atención a la eficiencia energética de sus edificios y sus instalaciones. La implantación de una serie de medidas durante la reforma de los edificios y actualizar las instalaciones puede suponer una importante contribución a los beneficios de la empresa.

Es imprescindible que la dirección se involucre en el diseño, imponiendo una política de trabajo para la utilización de la energía en la reforma de los edificios y mejoras de las instalaciones.

Finalmente, este caso de estudio, muestra como una compañía, Marconi Applied Technologies, se ha beneficiado de realizar un diseño energéticamente eficiente de sus nuevas instalaciones. El ahorro acumulado desde 1987 es de un millón de € al año. Sin este ahorro el consumo actual de energía podría ser mayor del 40% del actual. El coste de inversión de incluir estas medidas de ahorro fue de 1.05 millones de €, por lo que el periodo de retorno es un poco mayor a un año.

## 3.4 Refrigeración Industrial.

**Caso práctico 10:** Variador de velocidad en los ventiladores de una torre de refrigeración.  
(Cyanamid Uk)

### Objetivos.

El objetivo de este caso de estudio es demostrar el ahorro energético y en costes que se pueden conseguir usando variadores de velocidad en los ventiladores de una torre de refrigeración.

### Destinatarios potenciales.

Operadores de procesos con carga de refrigeración variable. En particular, en sitios donde la producción sea discontinua, donde las instalaciones tienen más capacidad de la que realmente se utiliza, se pueden obtener mejores resultados.

Coste de inversión €	7,900
Ahorro €	11,100
Periodo de retorno (meses)	8.5

Tabla 3.25. Resumen del caso de estudio.

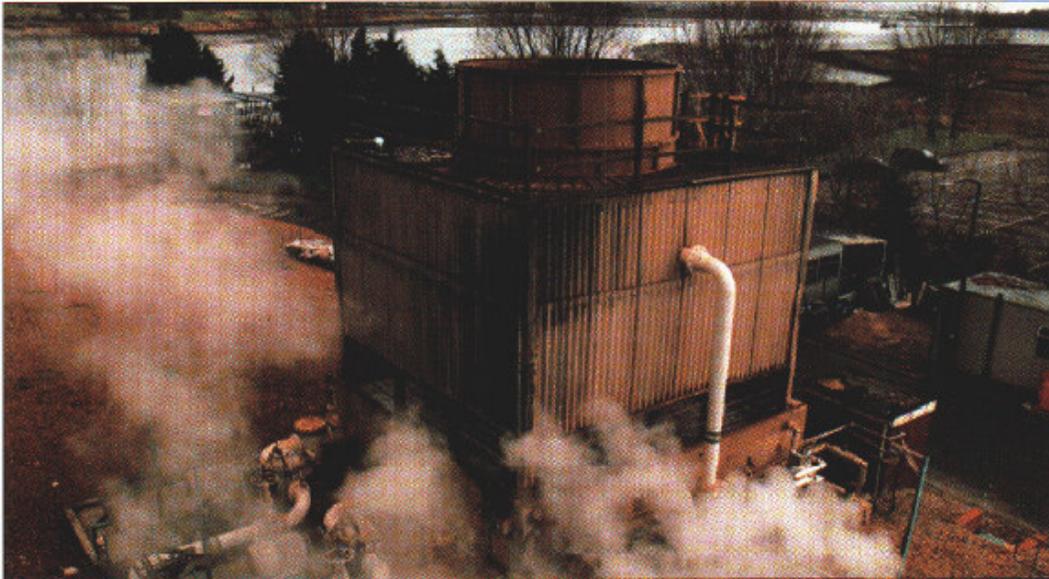
**Descripción:** Cyanamid Uk produce medicamentos en su sede central de Hampshire. Como en muchas de las plantas químicas dedicadas a la

fabricación de medicamentos, la planta opera mediante un sistema de producción discontinuo, lo que requiere una variación de la carga de refrigeración. Esta refrigeración es proporcionada por una torre de refrigeración que, originalmente, estaba equipada con ventiladores con una sola velocidad, que funcionaban continuamente para satisfacer la máxima demanda. La compañía examinó la energía que consumía la torre como parte de un programa para mejorar la eficiencia energética de la planta. Este examen concluyó que introducir variadores de frecuencia (VSD) en los motores de los ventiladores para ajustar su funcionamiento a la carga e cada instante podría suponer un ahorro del 60% en la energía eléctrica consumida. En febrero de 1993 un sistema de VSD fue instalado para proporcionar una velocidad variable a los ventiladores. El dispositivo ha estado operando satisfactoriamente durante 15 meses satisfactoriamente, proporcionando un ahorro energético de 9,140 € anuales. Además, este sistema proporciona un control de la temperatura muy fino, lo que produce un mejor control de todo el sistema y un ahorro de costes en agua, efluentes y productos químicos. El periodo de retorno del proyecto fue justo de 8.5 meses.

El sistema de refrigeración se utiliza para controlar las reacciones exotérmicas, refrigerar los lotes de producción entre procesos y condensar disolventes durante procesos de destilación.

Los procesos se llevan a cabo en reactores, que son refrigerados varias veces durante el ciclo de producción mediante revestimientos intercambiadores de calor. El agua fría es conducida al intercambiador de calor desde un sistema cerrado de refrigeración, que evacua el calor a la atmósfera mediante una torre de refrigeración. Como es común en la mayoría de las torres de refrigeración esta está diseñada para operar siempre a plena carga, teniendo en cuenta la máxima necesidad del proceso, temperatura ambiente y condiciones de humedad. En este caso, la capacidad de refrigeración de la torre estaba estipulada teniendo en cuenta todos los procesos de refrigeración que tienen lugar en la planta. Inicialmente, los ventiladores funcionaban a una velocidad fija para proveer la máxima refrigeración requerida por la planta. En cambio, en condiciones normales de operación, no todos los procesos están activos. Además, la máxima capacidad de enfriamiento rara vez coincide con la máxima demanda por muy adversas que sean las condiciones climatológicas. Esto quiere decir que la mayor parte del tiempo se está desperdigando energía en el proceso de refrigeración.

Cyanamid UK examinó la energía utilizada por esa torre de refrigeración como parte de un programa para mejorar la eficiencia de la planta. Los estudios concluyeron en que la instalación de un control de velocidad de los ventiladores ajustaría la velocidad a la carga permitiendo que la temperatura de retorno del agua a la torre estuviera controlada de forma mucho más precisa proporcionando un mayor control del proceso, y como no, una reducción de costes y de consumo energético.



*Fig. 3.35. Torre de refrigeración de la planta.*

### **Variadores de velocidad.**

El VSD instalado en Cyanamid permite al motor trabajar eficientemente a cualquier rango de velocidad. El ahorro energético se consigue porque la energía requerida por el ventilador es proporcional al cubo de la velocidad, una pequeña variación de la velocidad supone una significativa reducción del consumo eléctrico. Por ejemplo, si el ventilador funciona al 80% de su máxima velocidad (una reducción del 20%), se reduce el consumo de energía en al menos el 50%.

Para que un VSD funcione en un circuito cerrado como este es necesaria la realimentación de un parámetro del circuito. En esta instalación la temperatura del agua del colector de la torre es medida, y esa temperatura se realimenta a los controladores del VSD.

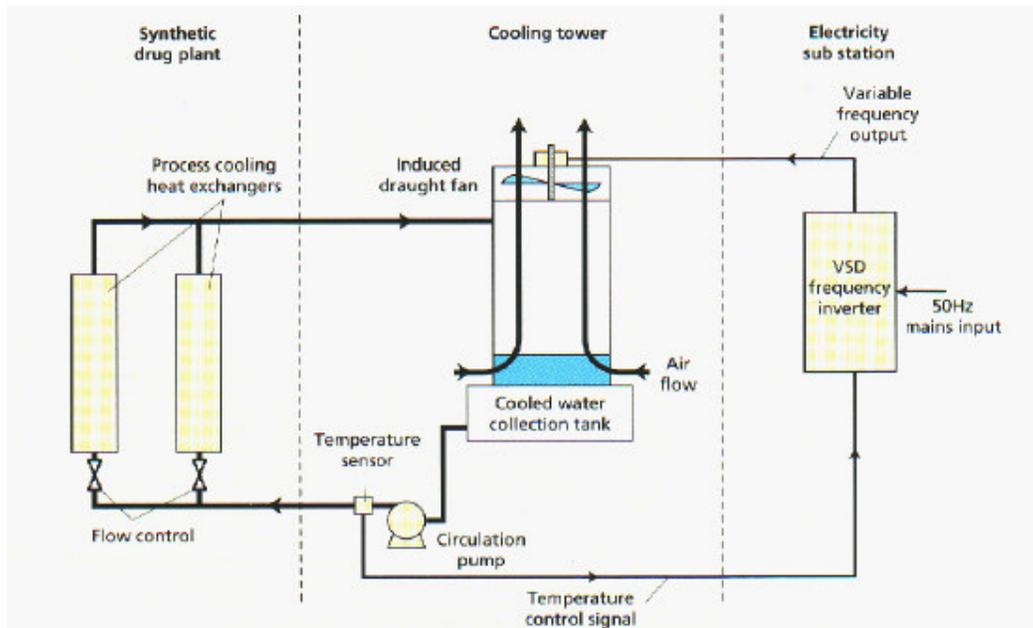


Fig. 3.36. Esquema del circuito de refrigeración.

### Torre de refrigeración evaporativa.

El enfriamiento es el resultado de la evaporación del agua en contacto con el aire del ambiente. El agua es pulverizada en la parte superior de la torre y cae atravesando un material de relleno cuya función es maximizar la superficie de contacto con una corriente de aire que circula en dirección contraria. La instalación de un ventilador para forzar el flujo de aire aumenta el efecto de refrigeración. La introducción de un control de velocidad variable permite que los ventiladores sean controlados automáticamente, para que su velocidad siempre coincida con la carga de refrigerante.

### Instalación y puesta en marcha.

Los estudios mostraron que el uso de la máxima capacidad de refrigeración rara vez era necesario. Se estimó que un ahorro de al menos el 60% sería factible mediante la instalación del sistema de VSD. Como resultado de este estudio, Cyanamid contrató el diseño e instalación de este sistema. El motor actual de 30 kW se mantuvo, pero el control fue configurado para proporcionar un control preciso del agua de retorno como se muestra a continuación.

Temp. Colector agua	Salida del variador
< 14	Apagado
16	Arranque
16-19	Velocidad proporcional
>19	Máxima velocidad

Tabla 3.26. Esquema de funcionamiento del VSD.

El VSD se usa para desconectar los ventiladores cuando el agua de retorno llega a 14°C o menos. Los ventiladores vuelven a funcionar cuando la temperatura del agua supere los 16°C, y su velocidad aumenta proporcionalmente hasta la máxima velocidad proporcionalmente a la temperatura del agua de retorno hasta un máximo de 19°C.

El sistema de VSD se localiza en el armario de distribución, lejos de la torre de refrigeración. El sensor de temperatura, que proporciona la señal de realimentación, se encuentra localizado en la torre de refrigeración, en la "Zona de riesgo 2", por lo que un aislamiento electrónico es requerido para el contacto con la unidad VSD.

La instalación y puesta en marcha tuvo lugar en febrero de 1993. el trabajo fue muy sencillo y no provocó paradas en la producción.

#### **Experiencia de funcionamiento.**

Durante el periodo de mediciones, desde marzo de 1993 hasta marzo de 1994, el funcionamiento fue excelente: ningún fallo o problemas aparecieron en la instalación. Desde que los sistemas VSD están contruidos de forma sólida, y no tienen partes móviles nada más que los ventiladores de los circuitos electrónicos, el mantenimiento y los cuidados que requieren son mínimos. El ventilador se mueve rápidamente a través de sus velocidades críticas (161 -179 rpm y 239 -264 rpm), que inducen problemas de resonancia. Además, los cambios de velocidad de los motores eran muy suaves debido a sus sofisticados sistemas de aceleración y deceleración, que minimizan los esfuerzos del motor. El dispositivo instalado para medir la temperatura de la realimentación del agua fue utilizado para medir el consumo de potencia durante el periodo de las mediciones. La toma de datos se realizó durante 14 días, midiendo la temperatura del agua en intervalos de 15 minutos. Esto confirmó que los ventiladores solo se ponían en funcionamiento cuando la temperatura de retorno superaba los 16°C, como se requería.

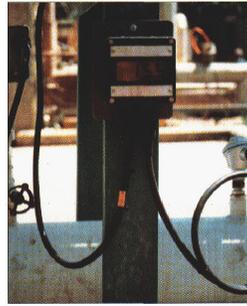


Fig. 3.37. Sensor de temperatura del agua de retorno.

**Ahorro energético.**

El ahorro obtenido en Cyanamid UK mediante el ajuste de la velocidad de los ventiladores a la demanda de refrigeración. El control automático suministrado por el VSD tiene en cuenta los cambios en las condiciones de operación para reducir la ventilación y así reducir el consumo eléctrico. En particular, el consumo energético se reduce cuando hay cortes en la producción, como cuando los reactores no están en uso, los lotes se modifican o cuando el tiempo es frío o las condiciones de humedad son bajas.

Anterior a la instalación del VSD en Cyanamid UK, los ventiladores trabajaban constantemente a máxima velocidad (menos los 14 días dedicados al mantenimiento al año). El consumo eléctrico sumaba un total de 202,880 kWh anuales. Tras la instalación del nuevo sistema de control, el consumo medido durante el primer año fue de 46,365 kWh, lo que supuso un ahorro del 77%.

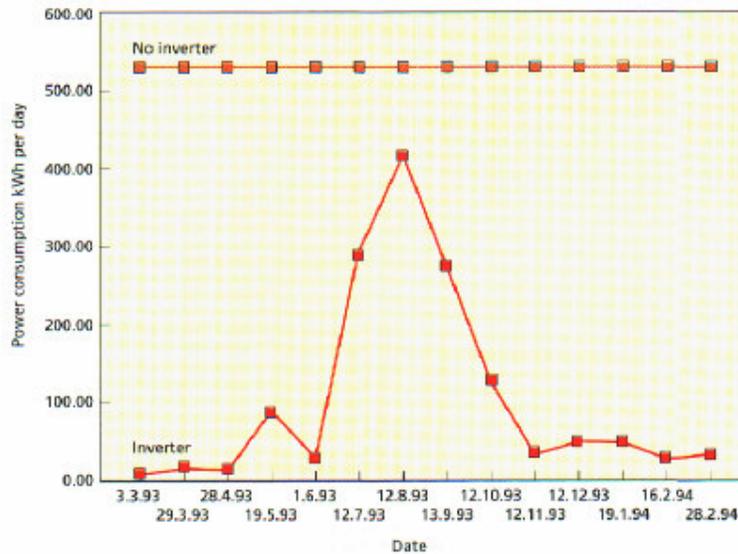


Fig. 3.38. Comparación del consumo energético con y sin el VSD.

El coste total de la instalación fue de 6,570 € (a precios de 1993). Se consiguieron ahorros por valor de 9,140 €, además se redujo las pérdidas de agua de la instalación, lo que se traduce en un ahorro en términos de agua, efluentes y productos químicos de tratamiento del agua, que hacen un total de 1,950 € al año. El periodo de retorno simple para el proyecto total es de solo 8.5 meses.

### Potencial de futuro.

Esta instalación ha demostrado como se pueden conseguir importantes ahorros energéticos mediante la aplicación de controladores de la velocidad de los motores eléctricos. La instalación es simple, se requiere un mínimo de variación de la instalación existente. Los costes de inversión no son muy elevados, lo que repercute en que se recupere la inversión en un corto periodo de tiempo.

Los beneficios obtenidos por Cyanamid UK mediante esta medida inducen a la compañía a involucrarse en otros proyectos de mejoras energéticas.

Otros operarios de procesos con carga de refrigeración variable podrán beneficiarse de las mismas consecuencias por la instalación de VSD, en particular, procesos discontinuos, que operen por lotes y con una producción variable y en instalaciones donde los ventiladores estén sobredimensionados.

**Caso práctico 11:** El uso de la tecnología Pinch en una industria de procesado de alimentos.  
(Van den Bergh Oils Ltd. Purfleet).

<b>Ahorro energético anual €</b>	1,000,000
<b>Reducción de la emisión de CO<sub>2</sub> (Tn/año)</b>	18,700
<b>Periodo de retorno (años)</b>	2.9

Tabla 3.27. Resumen del caso de estudio.

### Descripción.

A finales de los 80, Van den Berg Oils Ltd decidió construir una nueva refinería en Purfleet. La compañía quería estar asegurada de que la nueva refinería fuera más eficiente que su predecesora.

La refinería de aceite alimentario envuelve a un número de procesos semicontinuos y continuos, muchos de los cuales requieren que el aceite sea calentado y enfriado satisfactoriamente. En la antigua refinería se utilizaba una instalación de vapor para el proceso de calentamiento y el agua de un río cercano para llevar a cabo la refrigeración. La recuperación de calor que se llevaba a cabo era muy pequeña. La empresa se dio cuenta de que podrían obtener un gran ahorro energético mediante la integración de los procesos,

permitiendo la recuperación de calor entre los procesos de calentamiento y enfriamiento. La aplicación de la tecnología Pinch fue considerada como la mejor alternativa para producir una satisfactoria integración de los procesos, debido a la variedad de operaciones que se llevan a cabo en la refinería.

### **La tecnología Pinch.**

La tecnología Pinch es un método de análisis que identifica el mejor uso de las transferencias de calor entre fuentes de calientes (que necesitan ser refrigeradas) y fuentes de frío (que necesitan ser calentadas), que minimice la necesidad de calentamiento y enfriamiento mediante el uso de fuentes de calor y de frío externas. Mediante un cuidadoso diseño de la recuperación de calor, el uso de fuentes de calor externas (como por ejemplo el vapor) y de fuentes de refrigeración fueron disminuidas significativamente.

El “Pinch point” es una temperatura teórica de referencia determinada por las características de la planta que va a ser analizada. El Pinch point es crucial para el éxito de la tecnología Pinch, como se indica en las tres “reglas de oro”:

- Permitir la transferencia de calor entre fuentes que se encuentren cada una a un lado del Pinch point.
- No utilizar refrigeración externa en procesos que tengan una temperatura superior al Pinch point.
- No utilizar calefacción externa en procesos que tengan una temperatura inferior al Pinch point.

### **El estudio Pinch.**

Los ingenieros de procesos de Purfleet no tenían experiencia en la aplicación de la tecnología Pinch, por lo tanto fue necesaria la colaboración de especialistas externos para dirigir el estudio. Los ingenieros de la empresa trabajaron junto con los consultores, lo que tuvo dos beneficios significativos:

- Los consultores actuaron como mentores, dotando de experiencia a los ingenieros de la empresa.
- Los ingenieros locales aportaron su experiencia y conocimientos en el proceso productivo de la industria.

El estudio Pinch se llevo a cabo conjuntamente con el diseño de la nueva refinería en por un periodo de seis meses, dado que el estudio debía estar íntimamente ligado con el diseño de la nueva industria. Las recomendaciones aportadas por el estudio Pinch fueron incorporadas al diseño de la nueva refinería en cada fase de la construcción.

### Determinación del Pinch Point.

El estudio identificó que las fuentes de calor más importantes como la planta de endurecimiento (un proceso discontinuo) y los desodorizadores (semicontinuos). El estudio reveló que el Pinch point se encontraba en 55°C. Su determinación se muestra en la siguiente figura.

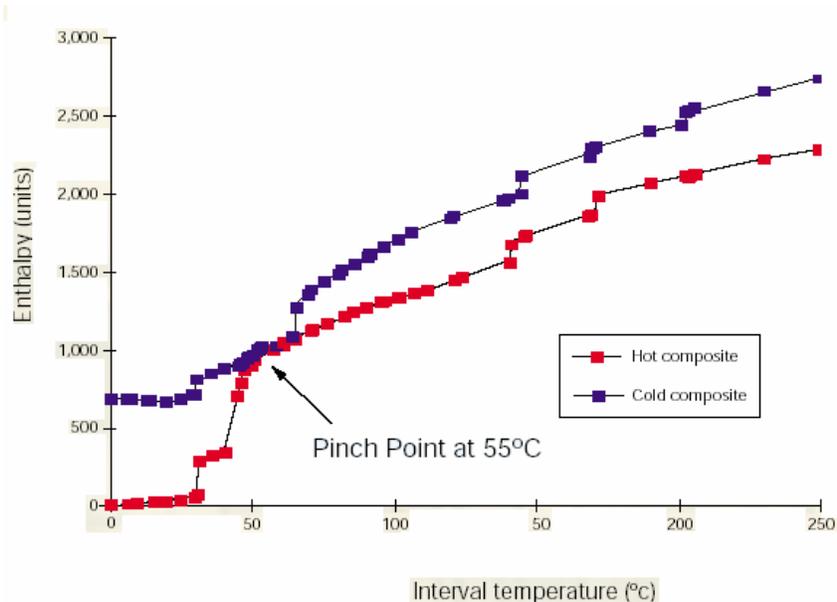


Fig. 3.39. Determinación del Pinch Point.

La identificación del Pinch point proporcionó una estrategia de recuperación de calor en la refinería definida como:

- El sistema de recuperación de calor no debería transferir a través del Pinch point.
- El agua del río no debería ser utilizada para refrigerar procesos que se encuentren debajo del Pinch point.
- No se deberían calentar con vapor procesos que se encuentren por debajo del Pinch point.

El estudio también reveló que los procesos discontinuos en la refinería podrían conducir a una disparidad entre el tiempo de disponibilidad y de demanda de calor, haciéndolo inviable para un intercambio de calor directo entre la mayoría de los procesos calientes y fríos. Así, un intercambiador intermedio o un depósito de almacenamiento era necesario antes de la integración de cualquier proceso, y una red de recuperación de calor fue desarrollada usando agua para la transferencia de calor y almacenamiento.

### Intercambiador y almacenamiento intermedio.

Esta instalación está basada en tres temperaturas del agua, 30°C, 55°C y 95°C, que proporcionan calentamiento y enfriamiento alrededor del Pinch point. Para proporcionar el almacenamiento térmico necesario, cuatro depósitos fueron instalados. La instalación se muestra en la siguiente figura.

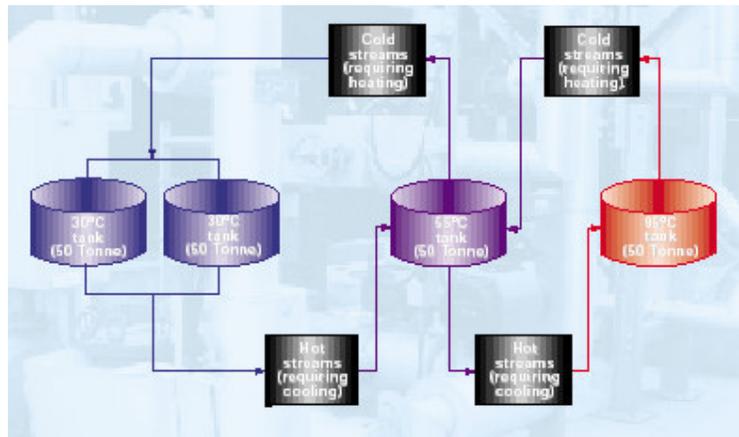


Fig. 3.40. Esquema de la instalación.

Para asegurar que la fiabilidad, el funcionamiento y flexibilidad de la refinera no se pone en riesgo por un exceso de confianza en este sistema. Las siguientes medidas de seguridad se dispusieron en el sistema.

- Cada elemento de la planta que utilice la calefacción y la refrigeración está provisto de un intercambiador extra (con vapor o agua de río, según sea requerido), para el caso de que el sistema de almacenamiento fallase.
- Los niveles de los depósitos de almacenamiento eran continuamente medidos, y si algún fallo apareciese, es agua podía ser transferido de un depósito a otro (y el vapor o el agua del río era inmediatamente suministrada donde fuera necesario).



Fig. 3.41. Uno de los depósitos de almacenamiento.

**Proyecto de integración del proceso.**

Basado en las temperaturas definidas por los depósitos de almacenamiento, el estudio Pinch identificó nueve proyectos de integración del proceso, todos ellos fueron incorporados en el diseño de la nueva refinería. Un ejemplo típico se muestra en la siguiente figura.

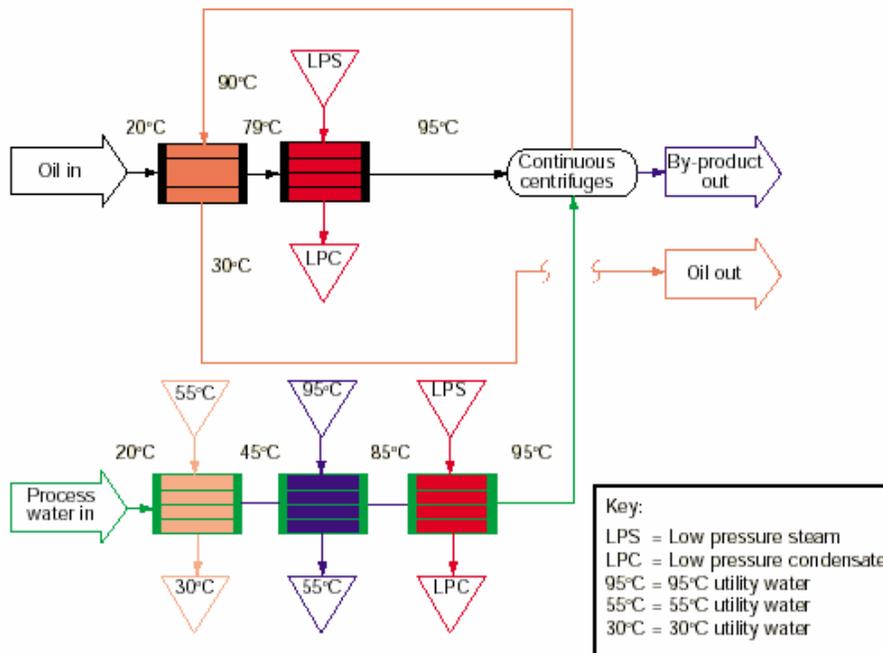


Fig. 3.42. Ejemplo de integración de u proceso de la refinería.

**Experiencia de funcionamiento.**

La construcción de la nueva refinería se llevó a cabo entre 1990 y 1993. a medida que cada sección de la industria fue puesta en marcha se incorporaba al sistema de recuperación de calor. Los beneficios totales no llegaron hasta que la refinería no fue completamente acabada y se integraron todos los procesos.

Durante los primeros cinco años de operación, todo el sistema funcionó satisfactoriamente, y rentabilizó su uso:

- La capacidad de producción de la refinería no se ha visto afectada negativamente.
- La flexibilidad de la refinería, no ha sido coartada.

Además, se ha conseguido integrar perfectamente los procesos discontinuos gracias al sistema de almacenamiento.

Recientemente, en cambio, el funcionamiento de la red de almacenamiento de se ha deteriorado levemente, afectando negativamente al almacenamiento del agua de 95°C. los intercambiadores de emergencia han sido utilizados para paliar este déficit, por lo que la producción de la refinería no se ha visto afectada.

En 1995, Van der Bergh Oils llevó a cabo una revisión del estudio Pinch para determinar los cambios que debían efectuarse en el sistema de almacenamiento, para mantener el máximo de la eficiencia del proceso. El estudio determinó que el proceso había hecho que el Pinch point hubiera cambiado. Estos cambios no habían sido considerados en el estudio original por lo que la producción no se encontraba en el óptimo de su efectividad.

**Análisis del periodo de retorno.**

La tecnología Pinch fue aplicada a la nueva refinería de Purfleet para asegurar el uso óptimo de la energía así como provocar el mínimo impacto ambiental. El ahorro asociado a esta aplicación se muestra en la siguiente tabla.

Concepto	Costes €	Ahorro anual €
<b>Costes de implementación</b>		
Honorarios de la consultora del estudio Pinch	29,200	
Honorario de los ingenieros de la casa	14,600	
Implementación de 11 recomendaciones del estudio Pinch	2,774,000	
Unión con la industria vecina para exportar calor	184,000	
<b>Coste total</b>	<b>3,001,760</b>	
<b>Ahorro</b>		
Reducción del consumo energético de la refinería		1,036,600
Venta del calor sobrante a la industria vecina		81,760
Costes de operación del sistema de almacenamiento		(75,920)
<b>Ahorro de la red</b>		<b>1,042,440</b>

Tabla 3.28. Costes y ahorro asociados con la aplicación de la tecnología Pinch.

Con un ahorro de alrededor de un millón de € y un coste total de alrededor de 3 millones de € se obtiene un periodo de retorno simple de 3 años.

### Beneficios.

La aplicación de la tecnología Pinch por Van der Bergh Oils ha hecho una refinería más eficiente y más respetuosa con el medio ambiente. Gracias a la aplicación de las recomendaciones del estudio Pinch, la nueva refinería consume un 35% menos de energía que si no se hubiese tomado ninguna medida.

Además del ahorro económico, se producen beneficios medioambientales tales como la reducción de las emisiones de dióxido de carbono en 16,700 Tn anuales y se disminuye la cantidad de calor vertida al río.

### El futuro.

Van de Bergh Oils está convencida de que el uso de la tecnología Pinch es una herramienta esencial en la estrategia del uso de la energía en esta refinería. Una revisión del estudio Pinch ha de hacerse cada cierto tiempo dado que las especificaciones del producto cambian continuamente y que en el futuro puede haber proyectos nuevos.

## 3.5 Bombas.

**Caso de estudio 12.** Instalación de variadores de velocidad en una planta química.  
(Cray Valley Limited).

<b>Coste de Inversión</b>	<b>27 bombas de agua</b>	14,600
	<b>2 bombas de agua</b>	14,600
	<b>Motor de un agitador</b>	6,280
<b>Ahorro obtenido (GJ/€ anuales)</b>		1,300/23,100
<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>27 bombas de agua</b>	1.9
	<b>2 bombas de agua</b>	1.4
	<b>Motor de un agitador</b>	2.4

Tabla 3.29. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** Cray Valley Limited, fabrica de resina y polímeros, usa una gran cantidad de agua fría para varios equipos de la producción. Posee un sistema separado para suministrar agua de refrigeración a las diferentes partes de la fábrica. Originalmente, las bombas del agua de refrigeración funcionaban siempre fuera cual fuera la demanda de la instalación. Como consecuencia, cada bomba fue equipada con un control de velocidad variable (VSD) que permitía ajustar el aporte de agua con la demanda en cualquier instante.

Como parte del proceso de producción, los productos químicos son mezclados en los reactores donde la velocidad de agitación es crítica. El método de control de la velocidad de agitación era un controlador de velocidad fija que controlaba a una bomba de volumen variable. No obstante, dado que los equipos VSD se han hecho más rentables en los últimos años, Cray Valley ha reemplazado ese controlador por uno VSD.

Este proyecto ha demostrado como los VSD pueden proporcionar una disminución de costes importante. Las dos instalaciones de bombeo de agua de refrigeración presentaron unos periodos de retorno de 1.4 y 1.9 años respectivamente mientras que la aplicación de mezclado tuvo un retorno de 2.4 años.

#### **Bombas de agua de refrigeración.**

Dos circuitos independientes de refrigeración están funcionando conjuntamente en esta instalación. Cada una está dedicada a un edificio que contiene una planta de procesos, conocidos como “edificio 27” y “edificio 2” respectivamente. Sin embargo, los dos circuitos tienen características que los hacen muy semejantes. El agua, recogida de un sumidero de retorno, es bombeada hasta lo alto de una torre de refrigeración donde es pulverizada para ceder el calor mediante un proceso de evaporación natural. Dos bombas en paralelo conducen el agua de refrigeración al circuito de distribución donde se usa en diferentes procesos. Una bomba está siempre en funcionamiento, mientras que la segunda sólo se pone en marcha cuando la demanda supera la capacidad de la primera. Sin embargo, como la segunda bomba no suele necesitar trabajar al máximo de su capacidad, se puede obtener un ahorro ajustando el

caudal suministrado con el caudal demandado por el proceso. En la siguiente figura se muestra un esquema del circuito de agua de refrigeración.

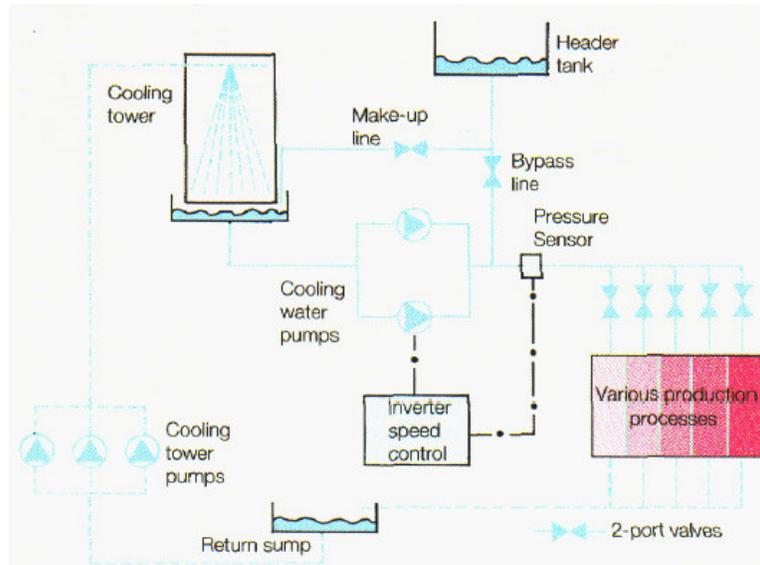


Fig. 3.43. Esquema del circuito de refrigeración.

### Motor de agitación.

En la producción de resinas y polímeros, las reacciones químicas deben ser controladas muy cuidadosamente. Los constituyentes de cada producto son añadidos gradualmente al reactor discontinuo y mezclados a una determinada velocidad durante un determinado tiempo para asegurar la reacción completa. Controlar la velocidad de la agitación es crucial para la calidad del producto.

Cuando se instaló el nuevo reactor 34, Cray Valley decidió usar un motor controlado con un variador de frecuencia para regular la velocidad de agitación en lugar del sistema hidráulico usado hasta entonces por la industria.

### Ahorro energético.

El consumo eléctrico del equipo de bombeo de agua de refrigeración del edificio 27 y 2 fue analizado para obtener un patrón del consumo. Se hizo un comparación con el consumo histórico de la industria para establecer una comparación entre al antes y el después de la instalación del sistema VSD.

#### *Bombas de refrigeración del edificio 27.*

El sistema VSD fue instalado en una de las dos bombas en paralelo en diciembre de 1990. La potencia consumida durante 1990, el año de referencia, fue de 4,519 GJ. Durante el año 1991 el consumo disminuyó hasta 3,994 GJ, obteniéndose una reducción de 11.6% además de producirse un aumento de la producción en un 5.9%.

Los resultados de 1992 también muestra el ahorro tomando el mismo año de referencia. Para este año se tuvo un consumo de 3,774 GJ, una reducción del 16.5%, sin embargo esto se debe además, a una reducción de la producción del 20%.

En la siguiente figura se muestra la relación entre el consumo de energía y las toneladas de producto semanales cuando la salida estaba entre 400 y 450 Tn semanales.

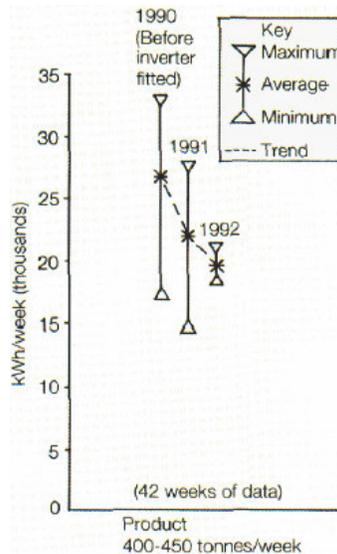


Fig. 3.44. Consumo frente a producción en las bombas del edificio 27.

El consumo máximo, mínimo y la media están indicados. Cuando la salida está por debajo de 350 Tn semanales el ahorro está menos definido porque solo la bomba que trabaja continuamente está en funcionamiento. Para producciones mayores, sin embargo, empiezan a identificarse los ahorros cuando la bomba de velocidad variable empieza a entrar en juego.

#### *Bombas de refrigeración del edificio 2.*

La instalación del edificio 2, al igual que la del 27, siempre tiene una bomba fija trabajando constantemente, con el sistema VSD proporcionando una capacidad extra cuando se requiere. Ahora, la filosofía de la empresa está cambiando dado que la empresa se ha dado cuenta que la demanda del edificio 2 rara vez excede de la capacidad máxima de la bomba 1.

Un variador de segunda mano fue instalado en agosto de 1989 pero no era muy fiable y fue remplazado por el actual en 1992.

Para identificar el ahorro, se comparó el consumo de energía entre cuando la bomba trabajaba a velocidad fija y cuando se instaló en variador de velocidad. El consumo promedio cuando el VSD no estaba instalado fue de 38.4 GJ

mientras que cuando sí estaba en funcionamiento era de 26.7 GJ. Esto proporciona un ahorro de 11.7 GJ que se traduce en una disminución del 30.5%. La media de productividad entre estos dos sistemas de control también es similar, ofreciendo solo una diferencia del 3.8%, lo que indica que el ahorro no se debe a una merma de la producción.

### *Motor de agitación.*

Para proporcionar datos para poder comparar el consumo del motor equipado con el VSD, el reactor 27 fue estudiado. Fue necesario medir el consumo de energía durante un periodo de tiempo necesario para establecer una medida del consumo típico de los procesos discontinuos que acontecen en los dos reactores. Se realizó un seguimiento del consumo de cada motor para identificar la potencia activa, potencia aparente y así el factor de potencia.



Fig. 3.45. Parte superior de un reactor y el motor de agitación.

Las diferencias entre las dos filosofías de control se muestran en la siguiente figura.

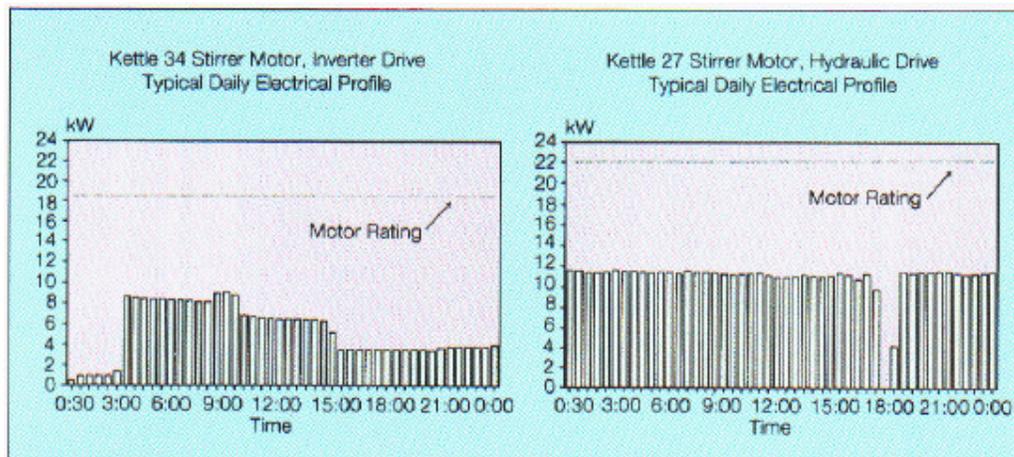


Fig .3.46. Perfiles típicos de los controles VSD e hidráulicos de los motores de agitación.

El VSD utiliza menos energía a menores velocidades mientras que el motor de la bomba hidráulica muestra un nivel mayor de consumo.

Durante un año completo el ahorro puede ser de 174 GJ, logrando una reducción del 52%.

	Características del motor	Detalles del VSD
Bombas (Edificio 27)	Bombas 1 y 2: trifásicas, 75 kW, 1477 rpm, 415 V, 50 Hz	75 kW, 415 V, Trifásico, Variador de 50 Hz.
Bombas ( Edificio 2)	Bombas 2 y 3: trifásicas, 45 kW, 2910 rpm, 415 V, 50 Hz	55 kW, 415 V, Trifásico, Variador de 50 Hz.
Motor agitación (Reactor 34)	18.5 kW, 1460 rpm, 415 V, trifásico, 50 Hz	18 kW, 415 V, Trifásico, Variador de 50 Hz.
Motor agitación (Reactor 27)	22 kW, 1460 rpm	Pistón rotativo, Motor hidráulico

Tabla 3.30. Especificaciones de motores, bombas y VDS.

**Caso práctico 13:** Ahorro energético mediante la reducción del rodete de una bomba .  
(Salt Union LTD).

<b>Coste de inversión €</b>		380
<b>Ahorro anual</b>	<b>Energético (GJ/€)</b>	710/13,000
	<b>Mantenimiento €</b>	17,340
<b>Periodo de retorno (días)</b>		8

Tabla 3.31. Resumen del caso de estudio.

**Descripción:** Salt Union Ltd produce sal por medio de la evaporación en múltiples etapas de salmuera. El vapor de agua resultante se condensa y se lleva a un depósito donde forma parte de la alimentación de la caldera.

Un análisis operacional mostró que la presión generada por la bomba de condensado era más alta de lo necesario. Esto provocaba inestabilidad en el sistema lo que conllevaba un alto coste de mantenimiento y continuas reparaciones.

La solución que optó tomar la industria fue rectificar el diámetro del rodete de la bomba. Esto eliminaría las inestabilidades y proporcionó un ahorro muy grande de energía. Reduciendo la potencia consumida por la bomba también permitió que el pequeño motor fuera hecho a medida, lo que supuso un ahorro extra.



*Fig. 3.47. Evaporador de alta presión.*

Salt Union tiene una planta de evaporadores de seis etapas que producen sal y condensado. Los evaporadores están controlados con vapor que proviene de la estación de presión intermedia de una cercana estación de potencia. Los evaporadores están en continuo funcionamiento y trabajan en serie para permitir que la evaporación se produzca progresivamente desde baja temperatura y presión. Una bomba de succión se usaba para distribuir parte condensado por la planta, llevando el restante al depósito de alimentación de la caldera. Esta bomba, con un caudal nominal de 230 m<sup>3</sup> a la hora es movida por un motor de inducción de 110 kW.

Un depósito intermedio abierto suministra el caudal proporcionado por la bomba, y una válvula operada neumáticamente, situada en el retorno de la planta de potencia, mantiene el nivel del depósito. El sistema de control se muestra en la siguiente figura.

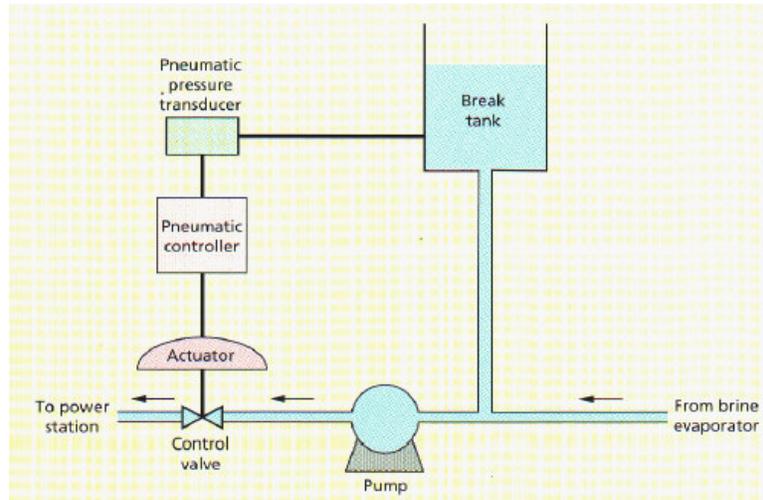


Fig. 3.48. Sistema de control de la distribución del condensado.

Se comprobó que la presión que proporcionaba la bomba era excesiva y provocaba inestabilidad en el sistema, esta inestabilidad provocaba el drenado del depósito intermedio, produciendo cavitación en la bomba. La inestabilidad también se manifestaba como problemas en tuberías y pérdidas en juntas en la línea de la planta de potencia.

Un análisis dinámico estableció la presión mínima necesaria para mantener el flujo requerido, y mostró que la presión de la bomba debía ser rebajada.



Fig. 3.49. Bomba de distribución del condensado.

### Modificación de la bomba.

Con la colaboración del fabricante de la bomba, Salt union midió la presión necesaria para que la bomba proporcionara el flujo requerido. Esto fue hecho mediante el estrangulamiento de la válvula de descarga de la bomba y midiendo la presión a la salida. Como resultado de esas pruebas, el fabricante de la bomba recomendó que el diámetro del rodete de la bomba debía ser

reducido de 320 a 280 mm, lo que reduciría la necesidad de estrangular la válvula de salida de la bomba. El rodete fue extraído de la bomba y rectificado por una ingeniería local. Tras el rectificado, el consumo energético cayó un 30%, permitiendo la instalación de un motor menor.



Fig. 3.50. Rodete tras el mecanizado.

### Resultado de las mediciones.

La medida del consumo de potencia del motor no estaba disponible antes de que la bomba y el motor fueran modificados. El ahorro energético, por tanto, es deducido de la eficiencia energética del motor y la bomba.

Después de modificar el rodete de la bomba, se midió el flujo promedio diario y analizado durante un periodo de ocho meses. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente figura.

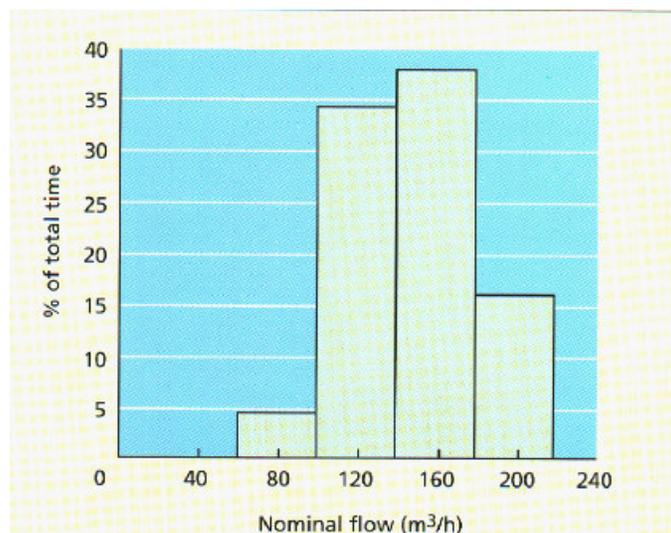


Fig. 3.51. Distribución típica del flujo.

El flujo está representado por bandas de 40 m<sup>3</sup> a la hora entre 60 y 220 m<sup>3</sup> a la hora, y el número de horas de trabajo en cada banda se muestra como un porcentaje del tiempo de trabajo total. Las horas anuales de funcionamiento y la reducción del consumo en cada banda fueron usadas para calcular el ahorro energético total. Por ejemplo, en la banda de 160 m<sup>3</sup> a la hora, el consumo energético anual se redujo de 324,000 kWh a 241,000 kWh (antes del cambio del motor).

**Ahorro logrado.**

El análisis mostró que el ahorro conseguido mediante el rectificado del rodete fue de 197,000 kWh anuales.

La tarifa eléctrica de este lugar es inusualmente alta (20.44 cent/kWh), aunque un cambio del proveedor de electricidad estaba bajo estudio. Una tarifa más típica es de 6.6 cent/kWh fue, entonces, usada para determinar el ahorro. Según este precio de 1994 el ahorro logrado fue de 13,000 € anuales.

La inestabilidad, que anteriormente provocaba la bomba en el sistema, suponía un gasto anual de 4,380 € en concepto de mantenimiento y repuestos. Estas reparaciones incluían el desgaste de la bomba, fallo en el control de la válvula, fugas en las juntas, etc. La estabilización del sistema eliminó esos costes de reparación quedando como ahorro total la cantidad de 17,380 € anuales.

**Otros beneficios.**

Al eliminar la cavitación de la bomba, se redujo la erosión de los componentes de la red, vibraciones y ruidos inaceptables.

**Periodo de retorno.**

La decisión de modificar el rodete de las bombas se suele llevar a cabo normalmente, sobre todo si se cuenta con la asistencia de la empresa productora de las mismas. El trabajo necesario para realizar la modificación es pequeño, y la reducción del diámetro exterior es simple para cualquier taller de mecanizado. El periodo de retorno que se obtiene es de solo ocho días (coste de 380 €, ahorro de 17,374 € anuales).

**Elección de un motor de menor potencia.**

El consumo de potencia de la bomba tras su modificación calló un 30% aproximadamente esto significa que el motor de 110 kW podría ser reemplazado por otro de solo 75 kW. Este motor más pequeño, que trabaja continuamente en su máximo de eficiencia, produce un ahorro de 395 € frente a una inversión de 3,680 €. Así, el periodo de retorno de la instalación de este motor (después de la modificación del rodete) es de 3.5 años.

El periodo de retorno total, teniendo en cuenta el rodete y el motor, es por tanto de 11.5 semanas, calculado con un ahorro anual de 18,400 € anuales y una inversión total de 4,060 €.

### Razones para la modificación del rodete.

Muchas de las bombas en la industria se encuentran sobredimensionadas, debido en su mayoría a un diseño conservativo de los requerimientos de la instalación y del diámetro del rodete. U diseño inapropiado es la causa de que se tenga que estrangular la salida de las bombas, trabajando estas en la zona de máximo rendimiento, lo que produce un desperdicio de energía. En otras ocasiones no se produce el estrangulamiento, pero la bomba trabaja fuera del rango de máximo rendimiento.

Este caso de estudio muestra como el rectificado del rodete es una medida que, reduce de manera muy efectiva, el coste de operación. Sin embargo, hay ciertos puntos que deben ser recordados:

- El rodete de bombas que mueven un gran caudal no pueden ser modificados.
- El rectificado de un rodete es una medida irreversible y, si hay que volver a las condiciones iniciales, el coste de un rodete es pequeño en relación al ahorro que se puede conseguir.
- Siempre se debe consultar al fabricante de la bomba. Si esto no es posible, se debe contar con el apoyo de un especialista en la materia.

**Caso práctico 14:** Instalación de un controladores de velocidad variable y de Pequeñas bombas sumergibles.  
(Hepworth Minerals and Chemicals Dingle Bank Quarry).

<b>Ahorro energético anual €</b>	<b>17,800</b>
<b>Periodo de retorno (años)</b>	<b>1.7</b>
<b>Se redujeron los costes de mantenimiento</b>	

*Tabla 3.32. Resumen del caso de estudio.*

**Descripción:** Dingle Bank Quarry produce alrededor de 1.2 millones de toneladas de arena al año. La producción de 1995 fue de “arena blanca”, utilizada en la fabricación de cristal, obteniendo como restos arena para fundiciones y para la construcción.

Hepworth Minerals and Chemicals (HMC) primero usó VSD para controlar la maquinaria de producción, principalmente de transportadoras. Lo siguiente en

que se estaba pensando era que instalar VSD en determinadas bombas podría tener un significado muy positivo en cuanto a ahorro y eficiencia. Además, HMC decidió reemplazar algunas bombas de arena que estaban sobredimensionadas por otras sumergibles de potencia más adecuada a las necesidades.

Todas estas medidas fueron implementadas en tres proyectos durante 1993 y forman parte de un empeño en mejorar la eficiencia energética del proceso y de reducir los costes de operación de Dingle Bank Quarry y el rendimiento de todas las actividades industriales de HMC.

### **Los proyectos.**

Proyecto 1: *Bomba y VSD del agua de la arena blanca.*

El agua usada en la planta de lavado de la arena de fundición y la arena blanca se coge de dos lagunas que se encuentran en el recinto. El agua que abastece a estas dos lagunas se bombea desde una zona de la cantera que se encuentra actualmente en desuso. Originalmente el bombeo de al agua se realizaba con dos grandes bombas controladas manualmente por medio de interruptores que llevaban el agua a la planta de lavado, a los respectivos depósitos, como se muestra en la siguiente figura.

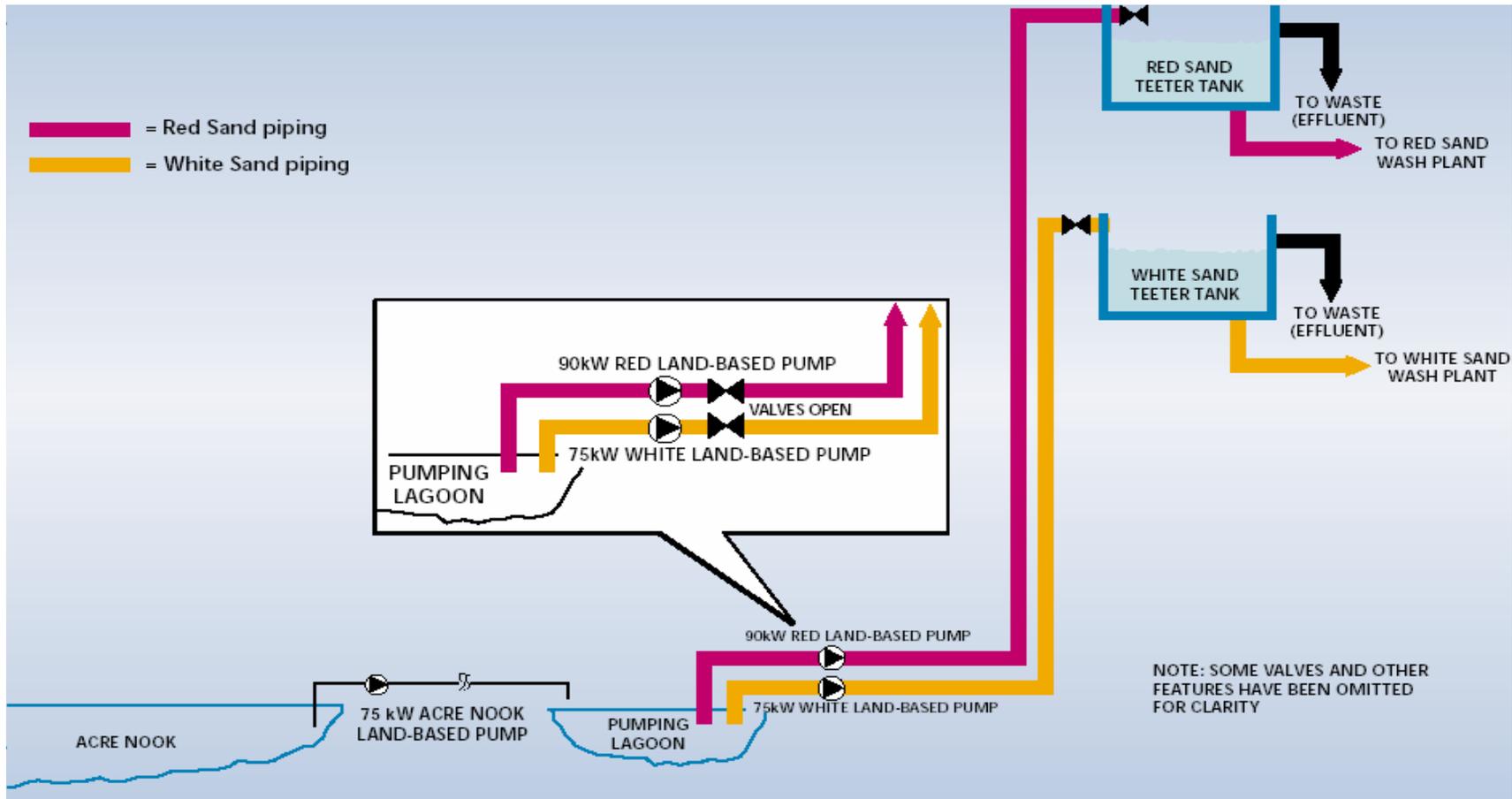


Fig. 3.52. Esquema del sistema de bombeo original.

La cantidad de agua bombeada se ajustaba manualmente mediante el estrangulamiento de la válvula de salida de las bombas. Las modificaciones que se llevaron a cabo fueron las siguientes:

- La instalación de una nueva bomba sumergible de 35 kW, equipada con un control VSD, para suministrar agua fresca a la planta de lavado de arena blanca.
- La transferencia, a la planta de lavado de arena de fundición, de la bomba de 75 kW que alimentaba anteriormente a la planta de arena blanca. La conexión existente entre las diferentes bombas permite cubrir la demanda de cada planta mediante una combinación de bombas, seleccionadas mediante un preciso sistema de válvulas de corte.

El flujo de más que llega al depósito de arena roja se desplaza ahora al depósito de arena blanca. Cuando el nivel del depósito del agua de la arena blanca llega a un cierto nivel, un sensor de nivel ultrasónico manda instrucciones al VSD para reducir la velocidad del motor de las bombas. Este sistema permite al VSD suavizar la demanda del sistema de aporte de agua.

El coste de las modificaciones ascendieron a 16,700 €: 9,300 € para la bomba sumergible, 6,500 € para el VSD y los 900 € restantes en el sensor ultrasónico.

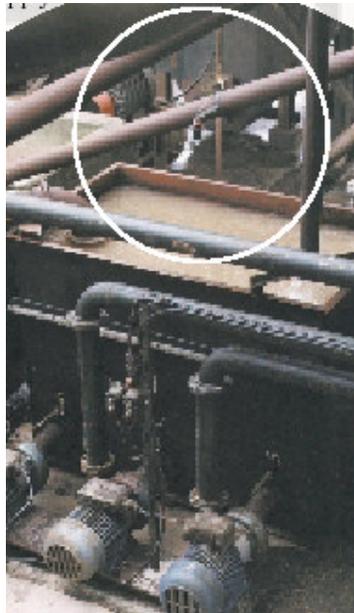


Fig. 3.53. Sensor ultrasónico del depósito de agua de la arena blanca.

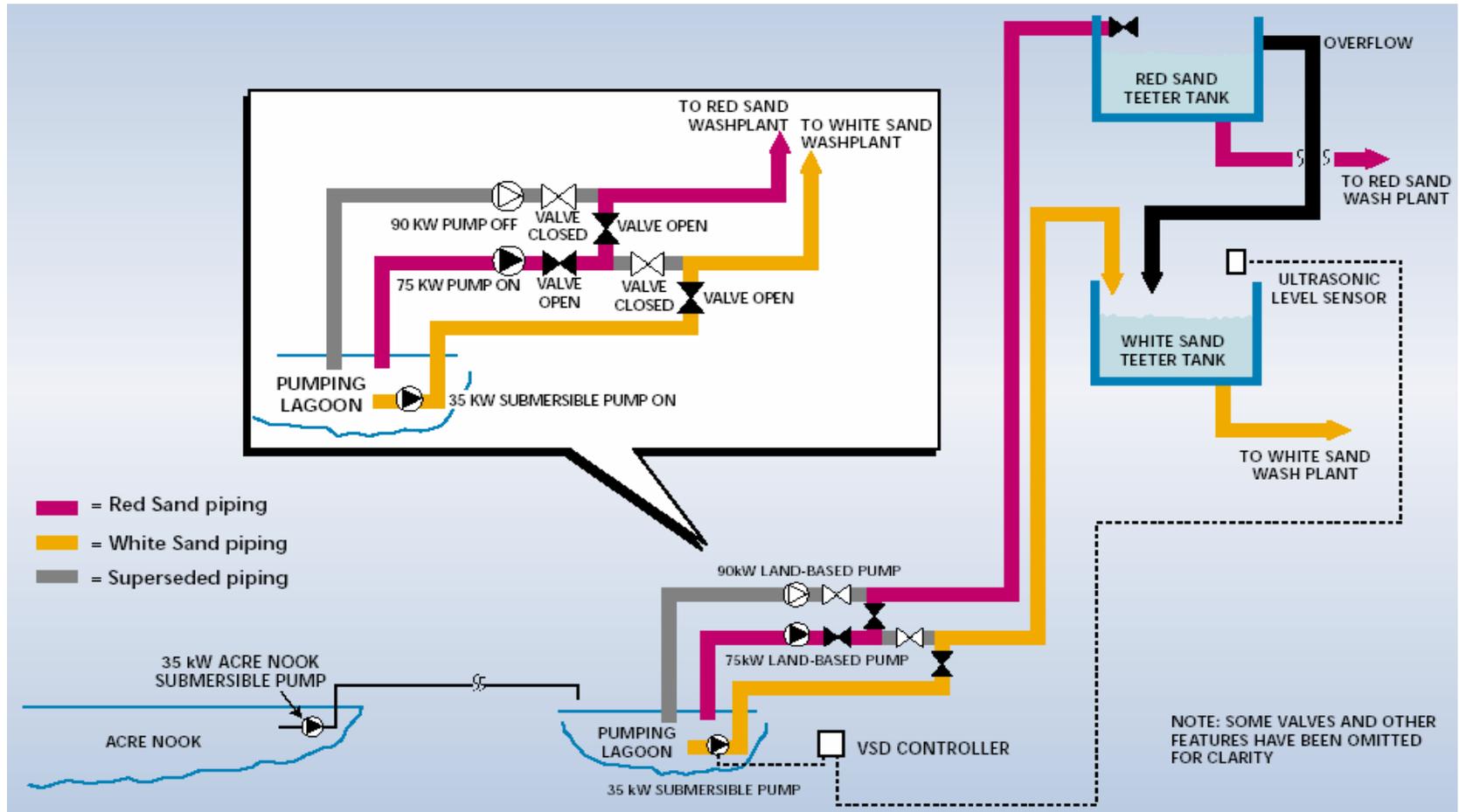


Fig. 3.54. Esquema del sistema de bombeo modificado.

Proyecto 2: *Bomba de efluente con VSD.*

El agua sobrante del los depósitos de las plantas de arena blanca y de fundición es recogida en un colector de efluentes antes de ser bombeada a las lagunas. El motor de la bomba de 90 kW era previamente puesto en marcha o desconectado por un sensor de nivel del tipo flotante. Cuando solamente funcionaba la planta de arena blanca, la salida de la bomba era meticulosamente estrangulada mediante una válvula colocada a su salida; cuando funcionaba simultáneamente con la planta de arena de fundición, la bomba trabajaba con la válvula completamente abierta.

En febrero de 1994, un equipo VSD de 75 kW fue instalado en el motor de la bomba de efluente de 90 kW. La menor potencia del controlador VSD era aceptable porque, resultados de unos estudios previos, habían mostrado que el mototr no solía desarrollar, en condiciones normales de operación, más de 70 o 75 kW de potencia. Además, para controlar el VSD se instaló un sensor de nivel de ultrasonidos, para ajustar la potencia de la bomba según fuese el nivel del colector. La válvula de estrangulamiento, que se ha dejado en la instalación, se mantiene completamente abierta en condiciones normales de funcionamiento. Estas modificaciones se muestran en la siguiente figura.

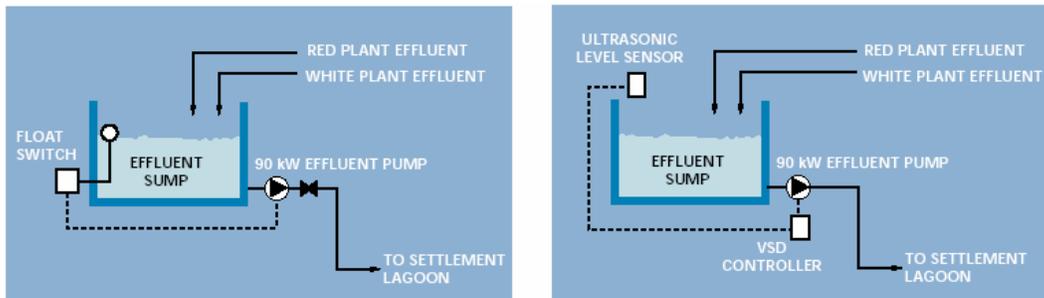


Fig. 3.55. Esquema del bombeo de efluente antes y después de la modificación respectivamente.

El coste de las modificaciones fue de 12,260 €: 11,300 € del VSD y los 900 restantes del sensor de nivel por ultrasonidos.



Fig. 3.56. Sensor ultrasónico de nivel del efluente.

### Proyecto 3: *Bombeo desde Acre Nook.*

Anteriormente de 1993, el agua que suministraba a las lagunas provenía de Acre Nook, una zona de la cantera que se encontraba en desuso. Como parte del proyecto, una bomba de 75 kW, fue reemplazada por una bomba sumergible de 35 kW, cuyo tamaño era más apropiado para realizar la función que tenía asignada. No se instaló ningún control adicional, siendo su conexionado manual. El coste de la nueva bomba fue de 9,400 €.

### **Resultado de los proyectos.**

El análisis de las medidas de las diferentes variables del sistema demuestra que ha habido un significativo decremento en el gasto de bombeo, tanto de agua fresca como de efluente.

### Proyecto 1: *Bomba y VSD del agua de la arena blanca.*

En la siguiente figura se muestra el consumo eléctrico mensual del sistema de aporte da agua fresca a la planta de arena blanca

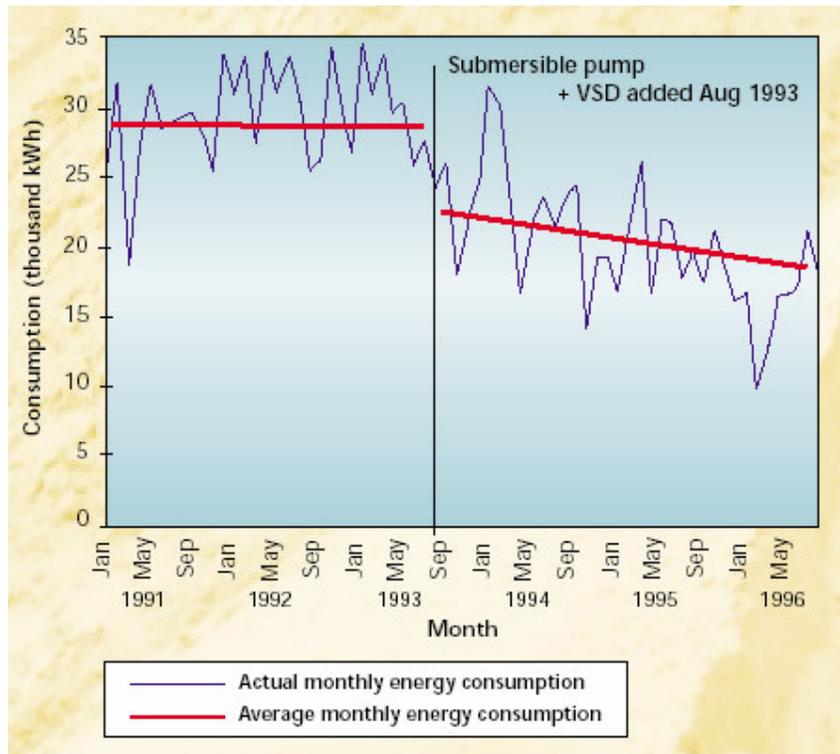


Fig. 3.57. Consumo eléctrico mensual de la planta de arena blanca.

El punto en el que la bomba de 75 kW fue reemplazada por una de 35 kW se puede identificar claramente.

Basándose en una simple comparación de la medida del consumo en los periodos, enero de 1991 – diciembre de 1992 y enero 1994 – diciembre de 1995, el promedio anual de ahorro energético entre los dos sistemas es aproximadamente de 99,500 kWh, el 28%, lo que representa un ahorro anual de 6,700 € anuales.

Además el consumo energético de la planta de arena blanca fue analizado antes y después de la instalación, cuyos resultados se muestran en la siguiente figura, donde se muestra una reducción de la demanda de energía de un 48% (31 kW).

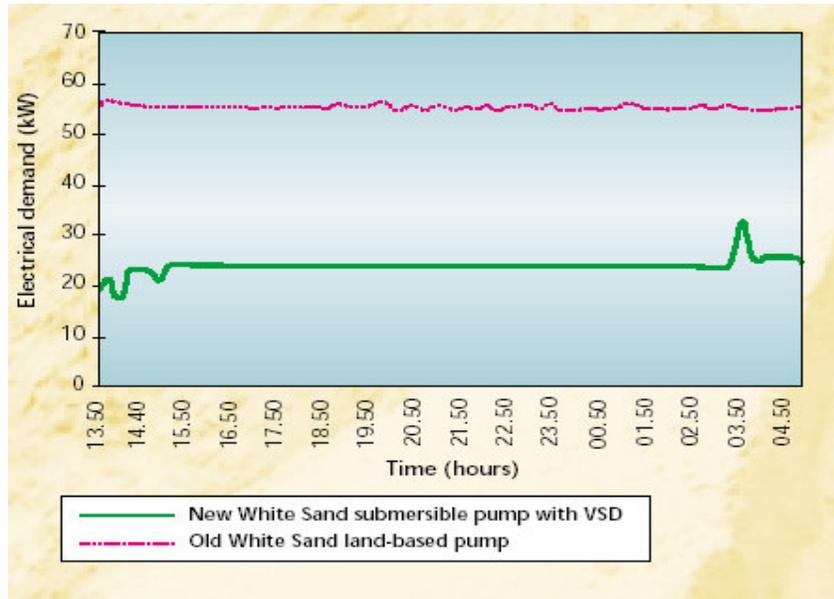


Fig. 3.58. Demanda de energía eléctrica de la planta de arena blanca antes y después de la instalación.

La instalación de la bomba sumergible y las modificaciones en los conductos permitieron que las labores de bombeo de la bomba de la planta de arena de fundición fueran transferidas de una bomba de 90 kW a otra menor de 75 kW.

El instante en el que se cambian estas bombas se puede apreciar en la siguiente figura.

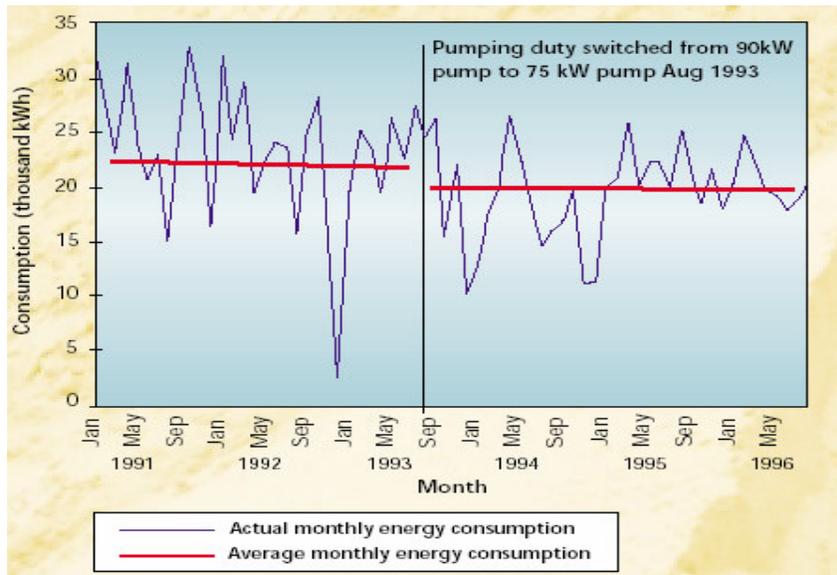


Fig. 3.59. Disminución del consumo de la bomba de la planta de arena para fundición.

Teniendo en cuenta los periodos de enero de 1991 – diciembre de 1992 y enero de 1994 – diciembre de 1995 que representan la situación “antes” y “después”, el ahorro se ha calculado en torno a 31,000kWh anuales, equivalente a un 12% y a 2,100 € al año.

Proyecto 2: *Bomba de efluente con VSD.*

En la siguiente figura se muestra el consumo mensual de energía eléctrica del bombeo de efluente entre enero de 1993 y agosto de 1996. El momento en el que se instaló y se puso en marcha el sistema VSD fue a primeros de 1994, como se puede apreciar claramente.

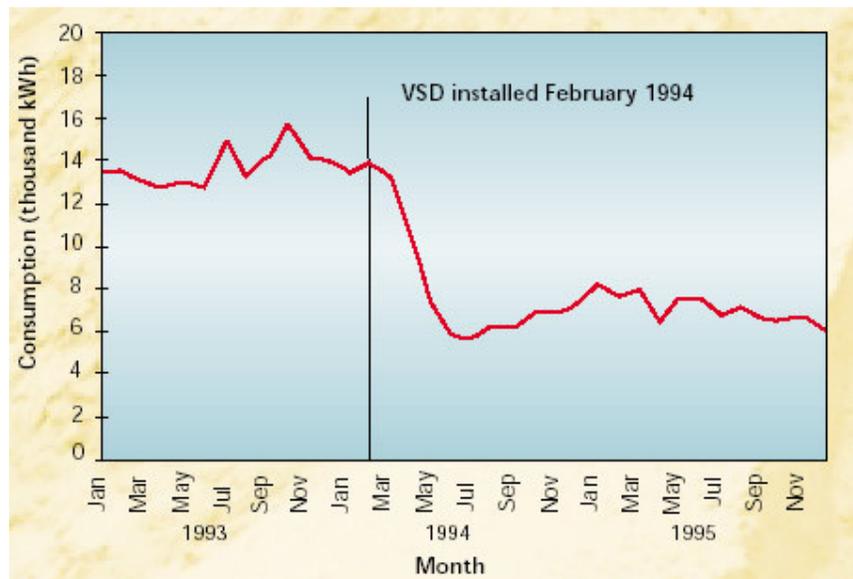


Fig. 3.60. Consumo eléctrico mensual de las bombas de efluente.

Si se utilizan como comparación los periodos enero-diciembre de 1993 y enero-diciembre de 1995 como “antes” y “después”, el ahorro anual que se observa es de 81,500 kWh anuales (48%). Esto significa un ahorro en costes de 5,500 € anuales.

La energía consumida por el bombeo de efluente también ha sido analizada, mostrándose los resultados en la siguiente tabla. El ahorro de alrededor de 27 kW se puede observar en la figura cuando la planta de lavado de arena blanca opera sola. Cuando las dos plantas están en funcionamiento simultáneo el ahorro es solo de 4 kW.

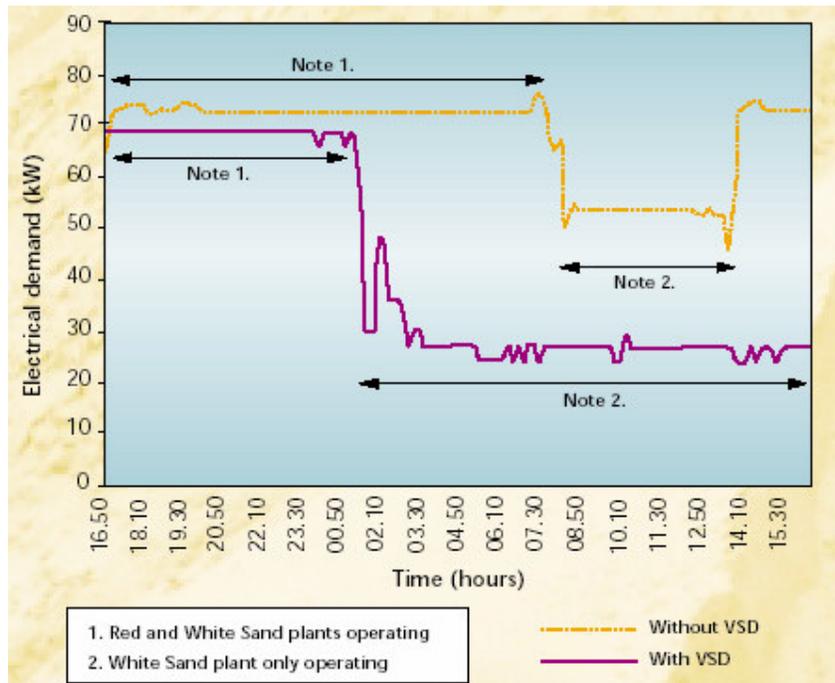


Fig. 3.61. Demanda eléctrica del sistema de bombeo de efluente.

### Proyecto 3: Bombeo desde Acre Nook.

La instalación de la bomba sumergible de Acre Nook ha tenido como consecuencia una disminución del consumo de energía. Sin embargo, este ahorro es difícil de cuantificar debido a los cambios de operación del lugar, que se traducen en un aumento de las horas de funcionamiento de la bomba.



Fig. 3.62. Bomba sumergible de Acre Nook.

En términos de consumo específico de potencia, la instalación ha pasado de  $0.23 \text{ kWh/m}^3$  a  $0.16 \text{ kWh/m}^3$ , un ahorro del 30%. Basándose en un promedio de horas de funcionamiento de la bomba, se estima que el ahorro asciende a 52,000 kWh anuales que supone una suma de 3,500 € anuales.

**Conclusiones.**

En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados obtenidos tras la realización de los tres proyectos descritos.

Proyecto	Coste de Inversión (€)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro energético (€/año)	Otros beneficios (€)	Periodo de retorno (energía)	Periodo de retorno (todos factores)
Bomba y VSD de la aerna blanca	16,700	99,500	7,100	4,015	2.5	1.6
Cambio de bomba de 90 por 75 kW	-	31,000	1,670	-	-	-
Bomba y VSD de efluente	12,270	81,500	5,500	-	2.2	2.2
Bomba sum. Acre Nook	9,400	52,000	3,500	1,100	2.7	2.0
<b>TOTAL</b>	<b>38,370</b>	<b>264,000</b>	<b>17,770</b>	<b>5,115</b>	<b>2.2</b>	<b>1.7</b>

Tabla. 3.33. Resumen de ahorro y costes del proyecto.

**Caso práctico 15:** Purga automática de aire en una cámara de refrigeración. (Exel logistics).

<b>Coste de Inversión €</b>		13,110
<b>Ahorro energético</b>	<b>Costes (GJ/€)</b>	630/12,850
	<b>Mantenimiento €</b>	3,500
<b>Periodo de retorno (meses)</b>		10

Tabla 3.34. Resumen del caso práctico.

**Descripción:** La purga de gases no condensables del condensador de un sistema de refrigeración reduce la presión de cabeza de la instalación. Esto tiene un doble efecto: la reducción del consumo del compresor y el aumento de la capacidad de refrigeración. Los problemas asociados a las altas presiones en el circuito son de este modo evitados.

En septiembre de 1989, Exel Logistics instaló un purgador automático al condensador evaporativo de su instalación de amoniaco. Anteriormente la plante se purgaba manualmente semanalmente. Un estudio sacó a la luz que cuando el purgador automático estaba apagado, la presión en cabeza aumentaba durante el transcurso de la semana traduciéndose en un 18% de aumento de potencia de compresión (de 60 kW a 71 kW). El funcionamiento del ventilador del condensador también se veía aumentado aumentando incluso en un 70%.

Además de los beneficios energéticos, el purgador ha reducido las pérdidas de refrigerante, y las horas de funcionamiento de los compresores por etapas se

ha visto reducido en un 6%. Por consiguiente, el ahorro obtenido de mantenimiento es de 3,500 € anuales y el funcionamiento de la planta es más simple. El sistema de purga es muy fiable y requiere un mantenimiento mínimo.

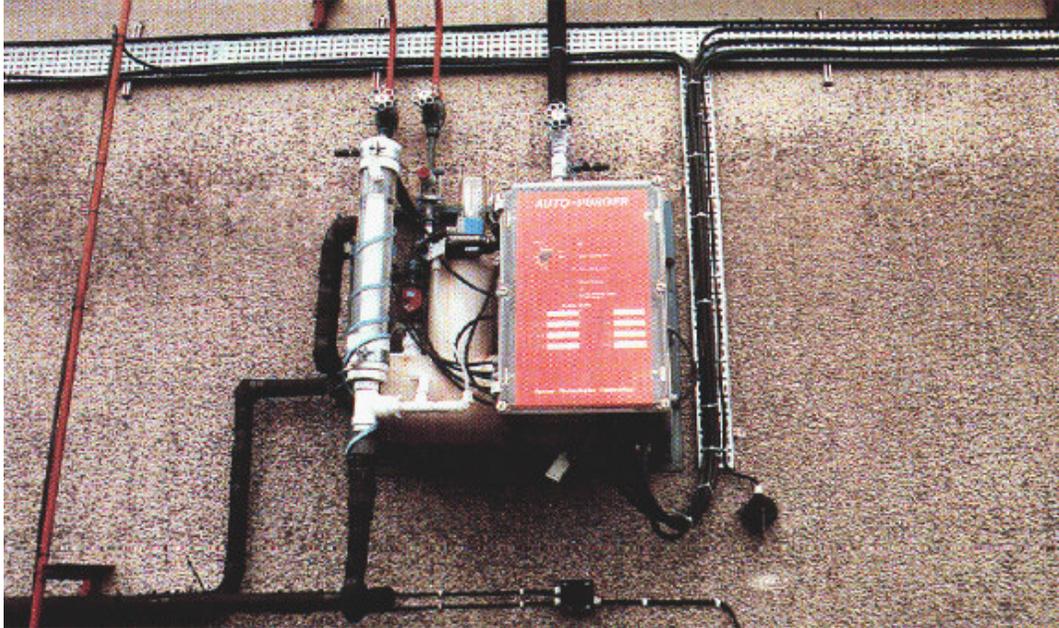


Fig. 3.63. Purgador de aire.

### **El sistema de refrigeración.**

La refrigeración de 16 cámaras frigoríficas requerían un volumen desde 190 m<sup>3</sup> a 2800 m<sup>3</sup> es proporcionado mediante el bombeo de amoníaco líquido en 2 fases. La temperatura de la cámara variaba dependiendo de las necesidades del cliente entre aproximadamente 4°C y -30°C. Los niveles de presión del sistema eran variados según las temperaturas de las cámaras.

Cinco compresores por etapas de dos tamaños diferentes estaban instalados: típicamente, uno mayor y otro menor, descargando ambos a un único condensador evaporativo. El amoníaco se drena desde el condensador hasta un colector de líquido horizontal.

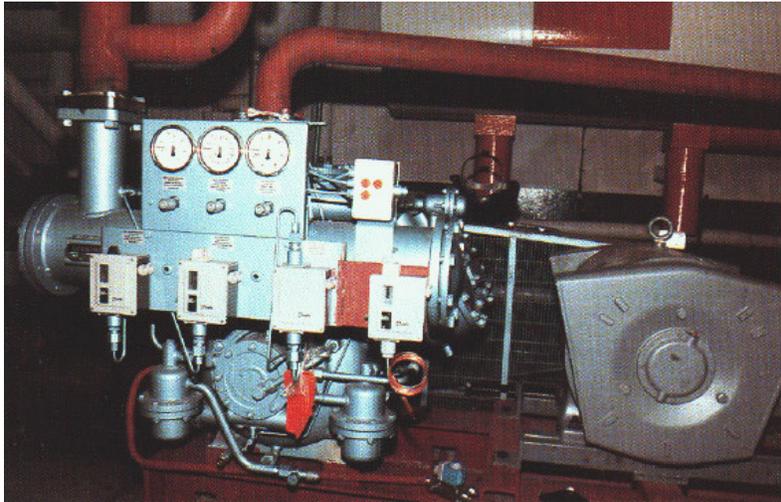


Fig. 3.64. Pequeño compresor por etapas.

### **Antecedentes de la purga.**

La presencia de gases no condensables en el condensador incrementa la presión de cabeza por dos razones:

- La presión parcial de los gases no condensables se suma a la presión parcial del refrigerante, incrementando la presión total del sistema.
- La presencia de gases no condensables impide la transferencia de calor a altas temperaturas necesarias para una buena operación del condensador.

El crecimiento de la presión de cabeza causa un consumo excesivo de energía del compresor, reduciendo así la capacidad del sistema, el COP se ve reducido.

Para evitar esas trabas en el funcionamiento normal de la instalación, Exel purgaba manualmente sus condensadores semanalmente. Esto provocaba pérdidas de tiempo en el proceso y fugas de refrigerante. Además, nunca se tenía la certeza de eliminar la totalidad de los gases no condensables.

### **Instalación y puesta en marcha del purgador automático.**

Para subsanar los problemas asociados a la purga manual, Exel instaló un sistema automático de purga que contiene al propio purgador junto con todos los controles necesarios para el funcionamiento de sus ocho puntos de purga. Los purgadores estaban situados en cinco puntos diferentes:

- Al final de cada depósito de líquido.

- En la parte superior de cada dos condensadores.
- En la línea de gas recalentado.

El aporte de refrigerante líquido a alta presión es facilitado por el depósito de amoníaco. La conexión de la succión de la purga está hecha desde la salida del compresor de la primera etapa.



*Fig. 3.65. Purgador (arriba izquierda) y depósito de amoníaco.*

Exel instaló el purgador en dos días y encontró la instalación un trabajo muy sencillo. Ese modelo de purgador, en particular, fue elegido porque es una unidad compacta, sin accesorios extra.

#### **Mantenimiento y rendimiento del purgador.**

La rutina de mantenimiento se limita a una inspección y limpiado de filtros de válvulas solenoides cada seis meses.

Se produjo un fallo del purgador debido a un fallo del solenoide. El arreglo tuvo un coste de solamente 20 €.

#### **Ahorro energético.**

El purgador estuvo trabajando una semana sí y otra no entre octubre de 1990 y enero de 1991. Durante las semanas en que el purgador se encontraba desconectado, la presión de cabeza del sistema aumentaba. Como resultado, el consumo de energía aumentaba proporcionalmente. En el siguiente gráfico se puede observar claramente este fenómeno.

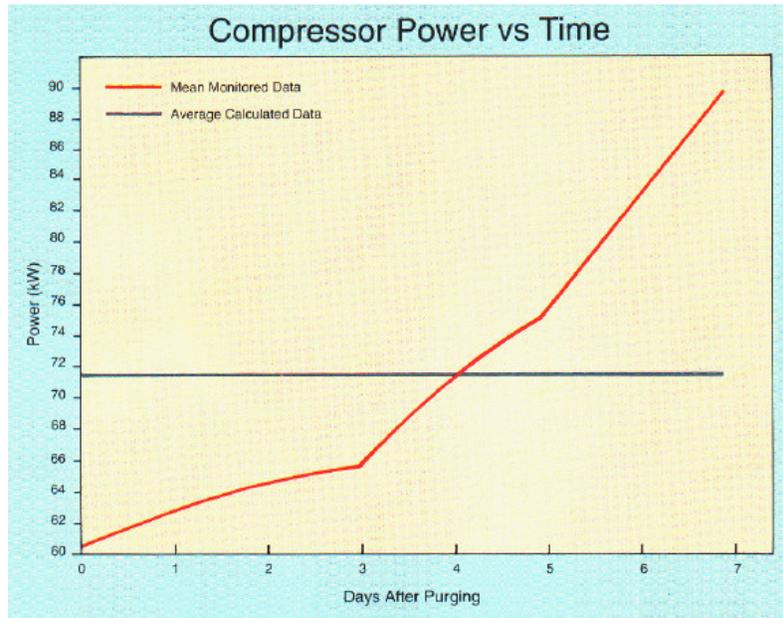


Fig. 3.66. Consumo de los compresores en una semana típica de purga manual.

En efecto, el consumo se vio incrementado desde 60 kW hasta 89 kW, con un promedio de 71 kW en ese periodo.

En las condiciones de funcionamiento existentes cuando el sistema de purga automático estaba activo se redujo el consumo promedio de la compresión de 71 kW a 60 kW, ahorrando el 15%. Permitiendo pérdidas en el motor y controlador del compresor y cambiando las condiciones de carga durante el año, se estima que el purgador ha reducido la energía de compresión en 120,000 kWh anuales, que se traduce 8,760 € anuales.

El funcionamiento del ventilador del condensador está dirigido por un sistema de control de la presión de cabeza, cuyo rango de funcionamiento está entre 6.5 bar y 10.5 bar. Cuando el purgador funciona la presión de cabeza fluctúa, por debajo de los 6.5 bar, al igual que los ciclos de la ventilación. Cuando el purgador no está en funcionamiento, la presión nunca decrece tanto como para detener la ventilación. El sistema de purga ha reducido el consumo anual de energía de ventilación en 56,000 kWh, lo que supone un total de 4,100 €. Finalmente, el ahorro de energía total proporcionado por el purgador fue de 12,850 € anuales.

### **Otros beneficios.**

El sistema de purga automática también ha traído otros beneficios que no son energéticos. Ya no es necesario establecer una rutina de purga manual. El funcionamiento de los compresores se ha mejorado tras la instalación de la purga automática, previamente había que purgar la instalación para que la presión no aumentara.

Como la purga de aire no puede ser pasada por alto, no se puede permitir que la cantidad de aire haga que la presión de cabeza alcance unos niveles tale que provoquen la parada del compresor de alta. Esto suele ocurrir tres o cuatro veces al año, principalmente cuando tras días fríos el tiempo se vuelve caluroso de repente.

En incremento de la capacidad del sistema y del COP han permitido disminuir el tiempo de funcionamiento del compresor de alta en un 6%, con el ahorro, de mantenimiento, de 3,500 € que consecuentemente conlleva.

También se disminuyen las pérdidas de refrigerante asociadas a la purga manual.

### **Análisis económico.**

El coste total del purgador instalado fue de 13,110 € en septiembre de 1989. El ahorro anual obtenido es de 12,850 €, de ahí que el periodo de retorno simple sea un poco mayor a un año en términos energéticos. Cuando se incluyen los ahorros correspondientes al mantenimiento el periodo de retorno cae hasta los 10 meses.

### **Potencial de futuro.**

El ahorro conseguido mediante la instalación de los purgadores automáticos viene determinado por las características de la instalación. Depende, principalmente, del tamaño de la instalación y de la cantidad de gases no condensables extra que extraiga el sistema de purga automática comparado con la purga manual.

Grandes cantidades de aire fueron introducidas en el sistema de compresión de baja que trabajaba continuamente bajo condiciones de vacío. En la mayoría de plantas que no operan continuamente bajo condiciones de vacío sin embargo experimentan condiciones de vacío, cuando se desescarcha o si como medida de control se para el sistema si la presión cae demasiado. Los gases no condensable también pueden acumularse en el sistema de refrigeración por otras razones como pueden ser fugas en los conductos de evacuación de condensado. El aire puede introducirse en el sistema durante las operaciones de mantenimiento o mientras que se carga el refrigerante, este puede contaminarse, y refrigerante y aceite pueden disociarse a altas temperaturas.

El coste típico de un sistema de purga en múltiples puntos es aproximadamente de 14,600 €. Para conseguir un periodo de retorno de dos años, y asumiendo un ahorro del 15%, se asume que el consumo anual de la compresión debe ser de alrededor de 48,000 €. En un funcionamiento continuo, esto supone que la potencia instalada de compresión debe ser de por lo menos 100 kW.

### **3.9 Removedoras y mezcladoras.**

**Caso práctico 16:** Modelado de un reactor de tres fases.

**Problema:**

El cliente ha diseñado un nuevo tipo de reactor para una reacción líquido-líquido-gas. El cliente propuso a BHR Solutions que hiciese un modelo experimental que le ayudara a:

- Comprender y cuantificar el funcionamiento del nuevo reactor.
- Comparar el funcionamiento del nuevo reactor con el antiguo.
- Optimizar el nuevo reactor.

**Objetivo:**

El objetivo es llevar a cabo una serie de estudios para realizar un diseño y optimización de un reactor líquido-líquido-gas.

**Propuesta.**

El proceso se llevaba a cabo en un reactor de 0.3 m de diámetro y una altura de 0.9 m que constaba de cuatro juegos de paletas removedoras. BHR Solutions trabajó codo con codo con el cliente en el estudio del presente diseño y en el efecto que tendrían unas modificaciones en:

- La dispersión del gas.
- Trazado de potencia del gasificado.
- Tiempo de residencia de la fase líquida.
- $k_L A$ .
- Estabilidad del gas en las dos fases (gas-líquido) y en las tres fases (líquido-líquido-gas.).

**El modelo.**

El proceso fue modelado usando aire, agua y un líquido orgánico. Las modificaciones estudiadas incluían el efecto de:

- El tipo de las paletas.
- Posición de la alimentación del gas.
- Caudal de gas suministrado.
- Potencia consumida.
- Tamaño de las gotas y burbujas.

**Resultados.**

Los resultados indicaron que el diseño del nuevo reactor era apropiado para el proceso y que todavía quedaban oportunidades de optimización del proceso de mezclado de tres fases.

**Caso práctico 17:** Eliminación de problemas de un mezclador en línea.

**Problema.**

En un mezclador en línea de la industria petroquímica, el gel viscoso formado cuando el 1% del surfactante se mezcla en un medio de baja viscosidad. Esto conduce a:

- Bloqueo frecuente del mezclador.
- Bajada de la presión, aumentando los costes de operación.
- Empeoramiento de la calidad del producto.
- Excesivas pérdidas en la producción.

**Objetivo.**

Mejora y rediseño de un mezclador en línea para dispersar homogéneamente un surfactante en una corriente continua.

**Propuesta.**

Los siguientes parámetros de diseño fueron analizados:

- Caudal de fluido base y aditivos.
- Diámetro del conducto usado.

- Tipo de mezclador.
- Estrategia de alimentación. Posición de la alimentación, nº de puntos de alimentación, etc.
- Energía requerida.
- Tiempo de residencia requerido.

**Resultados.**

Una buena bruma de burbujas debe formarse para permitir la formación del gel. Esto es una función del tipo de mezclador, número de mezcladores, estrategia de alimentación, caudales de aporte, etc. Se realizó un cambio del tamaño del reactor que estaba muy indicado para esta operación, teniendo en cuenta los requerimientos del cliente.

**Beneficios.**

Los resultados fueron:

- Funcionó bien la primera vez.
- No se produjeron bloqueos.
- Mejora de la calidad del producto.
- Se requería menos aditivo.
- Reducción de los costes de operación.

**Caso práctico 18:** Mezclado intenso en un proceso duro.

**Problema.**

Se produce un pobre mezclado en un reactor de polietileno de baja densidad lo que produce:

- Excesiva formación de decomp de producto.
- Baja estabilidad térmica.
- Altos requerimientos iniciales.

**Objetivo.**

Valorar el funcionamiento del actual contenedor y optimizar el mezclado basándose en los requerimientos químicos.

**Propuesta.**

Los siguientes parámetros de diseño fueron analizados:

- Tiempos de reacción.
- Utilización de un micromezclador para iniciar la reacción.
- Posiciones de la alimentación.
- Energía requerida.
- Tipos de paletas.
- Uso de deflectores.

**Resultados.**

Un buen mezclado se requiere en reactores del tipo LDPE, que mezclen los iniciadores rápidamente, donde hay que asegurarse que el mezclado produce una homogénea distribución del calor de reacción para asegurar que los productos decomp son mínimos y que el uso de iniciadores de la reacción es máximo.

Las modificaciones aplicables al proceso productivo fueron recomendadas basándose en los efectos obtenidos al modificar el tipo de paletas, la posición de la alimentación, la introducción de deflectores.

**Beneficios.**

Se constató que con estas modificaciones se mejoraba la estabilidad térmica del reactor y la calidad del producto.

**Caso práctico 19:** Optimización de un reactor gas-líquido.

**Problema.**

El cliente (de la industria química) trabaja con varias plantas en las que se lleva a cabo un proceso de cristalización. Como parte del continuo empeño del cliente de mejorar el proceso, el cliente quería conocer más detalladamente cómo era el funcionamiento del reactor actual y si existía alguna posible mejora.

**Objetivo.**

El objetivo era llevar a cabo un estudio experimental para comprender y optimizar el efecto de diferentes parámetros geométricos (tipos y posiciones de las palas, localización de la alimentación de gas) y las condiciones de operación (trazado de potencia y caudal de gas) en un reactor de cristalización gas-líquido.

### **Propuesta.**

El proceso se llevaba a cabo en un reactor de 0.61 m de diámetro y de 1.8 m. de altura. En el diseño actual, se analizaron los efectos de las modificaciones de los siguientes parámetros:

- La dispersión del gas.
- Trazado de potencia en la gasificación.
- Mezclado del líquido.
- $K_LA$ .
- Estabilidad del gas en las dos fases (gas-líquido) y en las tres fases (líquido-líquido-gas.).
- La transferencia de calor.

### **El modelo.**

El proceso fue modelado usando aire, agua y un líquido orgánico. Las modificaciones estudiadas incluían el efecto de:

- El tipo de las paletas.
- Posición de la alimentación del gas.
- Caudal de gas suministrado.
- Potencia consumida.
- Diseño de la refrigeración.

### **Resultados.**

Los resultados indicaron que significantes mejoras eran posibles para mejorar la dispersión del gas,  $k_La$  y la transferencia de calor.

## **Caso práctico 20:** Mejora de un proceso de polimerización.

### **Problema.**

Un reactor de lecho fijo era utilizado en una reacción exotérmica de tres fases. El reactor se aquejaba de las siguientes mermas:

- Baja productividad.
- Inestabilidad térmica.
- Tiempo de vida del catalizador bajo.
- Excesivo gasto energético.
- Altos costes de operación.

### **Objetivos.**

Realizar una rápida consultoría del proceso durante un tiempo de parada para mejorar el diseño del reactor. Las recomendaciones debían poder ser implantadas durante el tiempo de parada.

### **Propuesta.**

El diseño del reactor se realizó basándose en los diagramas del reactor y las características del proceso.

### **Resultado.**

Los resultados más importantes fueron que en el actual reactor:

- El contacto gas-líquido era muy bajo.
- Los iniciadores de reacción estaban pobremente distribuidos en el lecho.

Se propusieron modificaciones en la alimentación tales como:

- El gas es pre-dispersado en el líquido usando un mezclador estático.
- Los ratios de transferencia de masa se han mejorado.
- Se ha mejorado la distribución de los iniciadores de la reacción.

### **Beneficios.**

Los beneficios se manifestaron dos días después de aplicar las mejoras. Las mejoras se instalaron en el reactor durante la parada obteniéndose los siguientes efectos:

- Se incrementó la productividad en un 37%.
- Desaparecieron las inestabilidades.
- Se redujo la carga de catalizadores y aumentó significativamente el tiempo de vida de estos.
- Reducción del consumo energético.
- Un ahorro de 1.5 millones de € en cinco años.

### **Caso práctico 21:** Análisis de la estrategia de una reacción compleja.

Un reactor de mezcla semicontinuo producía un exceso de subproductos poliméricos. El cliente pensaba que esto se debía a su escasa política de mejora de procesos.

### **Objetivo.**

Proporcionar una consultoría para reducir la formación de subproductos.

### **Propuesta.**

El cliente proporcionó una estrategia de reacción con los nombres químicos substituidos por letras para asegurarse una total confidencialidad. Las propiedades de los reactivos (densidad y viscosidad) también fueron proporcionadas, junto con todos los detalles del reactor y del proceso. La estrategia de reacción, el diseño del reactor y el mezclado en el depósito fueron concienzudamente estudiados.

### **Resultados.**

Se concretó que el problema del proceso se centraba en el mezclado y alimentación. La alimentación se llevaba a cabo en la región de las paletas, lo que generaba el problema. Se solucionó, por tanto, cambiando su localización.

**Caso práctico 22:** Selección de las palas adecuadas para la fabricación de gel.

**Problema.**

Las recomendaciones fueron requeridas para:

- El diseño de una nueva planta para la producción de gel de baño.
- Adecuación del depósito existente.

**Objetivo.**

El objetivo es evaluar la viabilidad de diferentes combinaciones de agitadores de múltiples palas (una de las cuales se encuentra actualmente en uso).

**Propuesta.**

- Obtener los datos de los líquidos del proceso y las condiciones de operación.
- Usar modelos de líquidos para ajustar las propiedades del gel y las condiciones del flujo en una pequeña ampliación del depósito.
- Visualización del flujo y medición de potencia.

**Resultados.**

Una de las combinaciones de palas fue recomendada debido a las ventajas que proporcionaba en el sentido de que permitía una mejor entrada del aire desde la superficie y el trazado de potencia total.

**Beneficios.**

- Más de un 65% en la reducción del tiempo de reacción.
- Mezclado muy uniforme.