

Proyecto Fin de Carrera  
Ingeniería Industrial

# **Medidas de eficiencia energética en la Industria Química**

Autor:

Alberto Gamazo López

Tutor:

David Velázquez Alonso

Profesor titular

Dep. de Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2018

# Resumen

---

En nuestro trabajo vamos a realizar una síntesis de los procesos de eficiencia energética aplicables a la Industria. En concreto nos centraremos en la Industria Química al ser una de las mayores representantes del sector y la que más relevancia tiene en la actualidad.

El objetivo del proyecto será describir de una forma teórica todas las prácticas posibles que dentro de una empresa se pueden realizar para la mejora de la eficiencia energética y el ahorro económico, además del cumplimiento no exento de obligación de la protección del medio ambiente.

Comenzaremos el proyecto situando al lector en el contexto histórico de la Industria Química y su huella en la humanidad.

A continuación, resumiremos de una forma más numérica la aportación que la Industria química realiza tanto a nivel internacional, como nacional y su posible impacto en la economía y sociedad futuras.

La evolución de la industria va ligada a la protección del medio ambiente, así que comentaremos en detalle las medidas a tomar por parte de los gobiernos y la industria. También los aspectos legislativos y políticos que ayudan o frenan la comentada lucha contra las emisiones y el cambio climático y la evolución de la industria.

En el segundo capítulo realizamos la numeración de forma un poco más ingenieril y técnica de los procesos y tecnologías aplicables en la industria a la hora de realizar ejercicios de eficiencia energética.

Finalmente comentaremos algún caso práctico donde se hayan aplicado estas medidas y los resultados obtenidos.

<b>Resumen</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>Índice</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xvi</b>
<b>Capítulo 1</b>	<b>1</b>
1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	1
1.1. SECTOR QUÍMICO INDUSTRIAL	1
1.2. CONTRIBUCIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA A LA SOCIEDAD	2
2. <i>EFICIENCIA ENERGÉTICA</i>	5
2.1. BENEFICIOS DEL AHORRO DE ENERGÍA Y LA APLICACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA:	6
3. <i>DATOS Y REFERENCIAS DEL CONSUMO INDUSTRIAL QUIMICO</i>	7
3.1. CONTEXTO INTERNACIONAL	7
3.2. CONTEXTO NACIONAL	10
4. <i>DESARROLLO DE LA INDUSTRIA</i>	11
4.1. RUMBO ACTUAL PARA LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO	11
4.2. MARCO POLITICO	13
4.3. DEPENDENCIAS DE LA INDUSTRIA QUÍMICA ESPAÑOLA	14
<b>Capítulo 2</b>	<b>20</b>
1. <i>INTRODUCCIÓN</i>	20
1.1. COSTES DEL PROYECTO	21
1.2. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA	21
1.3. NORMATIVA	23
1.4. REVISIÓN DE LA ENERGÍA	24
1.5. GESTIÓN DE DATOS ENERGÉTICOS Y EVALUACIÓN DE DATOS ENERGÉTICOS PREVIA AL PROYECTO ENERGÉTICO	25
1.6. PROBLEMAS COMUNES EN EL CONTROL Y MONITORIZACIÓN	28
1.7. METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR UNA INVERSIÓN EN UN PROYECTO DE AHORRO ENERGÉTICO	29
2. <i>OPORTUNIDADES DE AHORRO</i>	31
2.1. INTRODUCCIÓN	31
2.2. MEDIDAS PREVIAS	32
2.3. MEDIDAS HORIZONTALES	33
2.4. MEDIDAS VERTICALES	66
2.5. OTROS	73
2.6. CASOS PRÁCTICOS	81
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>93</b>
<b>Referencias</b>	<b>95</b>



# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1: Aplicaciones de la industria química	2
Tabla 2: Beneficios de implantar medidas de eficiencia energética en la empresa	6
Tabla 3: Indicadores económicos de la industria química española	10
Tabla 4: Indicadores de lucha cambio climático y objetivos países EU	11
Tabla 5: Variables típicas en un proceso en la etapa de producción	27
Tabla 6: Variables típicas en un proceso en la etapa de generación	27
Tabla 7: Variables típicas en un proceso en la etapa de distribución	28
Tabla 8: Tipos de costes en un proyecto de ahorro energético industrial	29
Tabla 9: Tipos de medidas de ahorro a estudiar por categoría	31
Tabla 10: Ahorro potencial por tecnología en industria química	31
Tabla 11: Medidas previas en un proyecto de eficiencia energética	32
Tabla 12: Medidas de ahorro en los sistemas de vapor	35
Tabla 13: Rango de exceso de aire óptimo en un proceso de combustión	37
Tabla 14: Calor recuperado de purgas de vapor	39
Tabla 15: Caudal de vapor (kg/h) que sale de un orificio	43
Tabla 16: Ahorro de energía potencial por tipo de sistema de cogeneración	48
Tabla 17: Ventajas y desventajas de los tipos de sistemas de cogeneración	49
Tabla 18: Clasificación de motores de corriente continua	53
Tabla 19: Oportunidades de ahorro en motores eléctricos	53
Tabla 20: Oportunidades de ahorro en sistemas de aire comprimido	57
Tabla 21: Oportunidades de ahorro en sistemas de refrigeración	64
Tabla 22: Oportunidades de ahorro en áreas de ahorro específicas de la industria química	66
Tabla 23: Consumo de vapor por tipo de evaporador y número de efectos	68
Tabla 24: Oportunidades de ahorro en sistemas de calefacción industrial	73
Tabla 25: Oportunidades de ahorro en sistemas de ventilación industrial	75
Tabla 26: Oportunidades de ahorro en aire acondicionado	76
Tabla 27: Oportunidades de ahorro en iluminación	78
Tabla 28: Ahorro anual al sustituir una bombilla convencional por LED	79
Tabla 29: Tabla comparativa de motor de dos velocidades y motor de accionamiento	87

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1: Producción de la industria por segmento de clientes en la UE-27	3
Figura 2: Índices de concentración de de partículas de dióxido de carbono en la atmósfera	3
Figura 3:Ciclo de consumo-producción-emisiones de un proceso químico en la industria	4
Figura 4:Petrochemicals and specialty chemicals account for half of EU chemicals sales	4
Figura 5:Generación energética en España por tipo de fuente energética	5
Figura 6: Chemicals sales by region	7
Figura 7: Legislation cost during the period 2004-2014	8
Figura 8: Fuel and power consumption by source in the EU chemical industry	8
Figura 9. Level playing field in greenhouse emissions	12
Figura 10: Flujo de energía (y materias primas) típicos de una planta química	20
Figura 11: Círculo de Deming orientado a un proyecto de eficiencia energética	22
Figura 12: Diagrama de Sankey para un ciclo de vapor	24
Figura 13: Electricity per chemicals produced in quemical plant	26
Figura 14: Energía consumida por cantidad de producción en una planta química	27
Figura 15: Ejemplo de coste de vida un proyecto industrial	30
Figura 16: Porcentaje de consumo energético en para una planta de vapor	33
Figura 17: Caldera de agua sobrecalentada Unimat UT-M Bosch	36
Figura 18: Esquema de caldera con economizador instalado	37
Figura 19: Esquema de caldera con recuperador de calor ECO TITANUM plus	38
Figura 20: Aislamiento de calderas, Zitro aislamientos termoacústicos	39
Figura 21: Esquema de alimentación directa de condensados a caldera	40
Figura 22: Aislamiento de tuberías de una red de vapor	41
Figura 23: Ábaco de Wrede para pérdidas de calor en accesorios de red	42
Figura 24: Fugas de vapor en red de tuberías	43
Figura 25: Purgador de vapor estandar	44
Figura 26: Diferencia entre purgador funcionando adecuadamente y otro que deja escapar el vapor vivo	44
Figura 27: Esquema de un sistema de cogeneración y su consumo energético	45
Figura 28: Esquema de un sistema de cogeneración con turbina de gas	46
Figura 29: Esquema de un sistema de cogeneración con turbina de vapor	47
Figura 30: Esquema de un sistema de cogeneración con motor alternativo	48
Figura 31: Esquema energético de un sistema de trigeneración	50
Figura 32: Calderas Biasi Powercond con quemador de microllama y ventilador de velocidad variable	51
Figura 33: Energía consumida por motores media dentro de industria química de UK	51
Figura 34: Componentes de un motor eléctrico	52

Figura 35: Motor eléctrico con variador de frecuencia	55
Figura 36: : Esquema de instalación de aire comprimido en la industria	56
Figura 37: Compresor industrial 20HP 3F, Tanque 500ml 80 PCM	56
Figura 38: Digrama de Sankey de un sistema de aire comprimido	59
Figura 39: Tuberías de transporte de agua de refrigeración por el exterior de una planta química	61
Figura 40: Esquema energético de cesión de calor de un foco frío a uno caliente	62
Figura 41: Ciclo de Carnot	63
Figura 42: Esquema termodinámico de ciclo de Carnot	63
Figura 43: Enfriador evaporativo	65
Figura 44: Torres de refrigeración industriale	65
Figura 45: Flujos entrada y salida de evaporadores multiefecto	67
Figura 46: Esquema de torre de destilación para el análisis energético	69
Figura 47: Esquema de columna de destilación con bomba de calor con circuito auxiliar	70
Figura 48: Secador industrial CICSA	71
Figura 49: Calefacción radiante por zonas	74
Figura 50: Gráfica ahorro de potencia por presión de descarga	89
Figura 51: Esquema de funcionamiento de evaporadores de n efectos	91





## *Importancia de la Industria Química*

### 1. INTRODUCCIÓN

Desde la prehistoria el hombre ha estado acompañado de procesos químicos. Muchos de los descubrimientos que le han posibilitado su supervivencia, su desarrollo tecnológico y la mejora de su calidad de vida están relacionados con dichos cambios: el fuego, la cocción de los alimentos, la fermentación que permitió la obtención de metales y sus aleaciones.

Se puede afirmar que la vida contemporánea y cualquiera de los aspectos que la caracterizan, resultan imposibles sin los conocimientos que proporciona la química como ciencia y sin la aplicación que de ellos hace la industria.

La química ha tenido un gran crecimiento desde finales del siglo XIX hasta la actualidad. Este desarrollo se ha basado en la industria del petróleo y sus derivados. En los últimos años del siglo XIX se han desarrollado otro tipo de productos como polímeros, materiales semiconductores, productos farmacéuticos y agroquímicos, así como la aparición de nuevas tecnologías como la nano-tecnología que tiene una gran base química.

#### 1.1. SECTOR QUÍMICO INDUSTRIAL

##### Definición<sup>1</sup>

La industria química es el sector que se ocupa de la extracción y procesamiento de las materias primas, tanto naturales como sintéticas, y de su transformación en otras sustancias con características diferentes de las que tenían originalmente.

##### Objetivos

Su objetivo principal es elaborar un producto de buena calidad con el costo más bajo posible, y tratando de ocasionar el menor daño al medio ambiente. Las materias primas corresponden a diversos materiales extraídos de la naturaleza con el fin de fabricar bienes del consumo. Se la puede clasificar según su origen: animal, vegetal y mineral.

---

<sup>1</sup> La industria química y el ingeniero químico 1998

Clasificación

- Industria química de base: utilizan materias primas básicas y elaboran productos intermedios que también pueden servir de materia prima para otras industrias.
- Industrias químicas de transformación: están destinadas al consumo directo de las personas, emplean productos elaborados por las industrias químicas de base. La química fina, comprende numerosas industrias especializadas (medicamentos, fertilizantes, plaguicidas, colorantes, etc.).

Otro producto muy importante obtenido gracias a la química industrial es el plástico, que se obtiene por síntesis.

**1.2. CONTRIBUCIONES DE LA INDUSTRIA QUÍMICA A LA SOCIEDAD**

Las enormes contribuciones de la química a la sociedad son difíciles de resumir debido a la amplitud de aplicaciones reales que históricamente ha aportado y en las que se sigue investigando. Estas son algunas contribuciones que han sido sólo posibles gracias a la química y con las que convivimos en la actualidad.

SECTOR	APLICACIÓN
Salud	- Aumento de esperanza de vida gracias a la farmacología y mejoría de condiciones.
Alimentación	- Conservación de alimentos con aditivos o conservantes, transporte con plástico y conservación. - Fertilizantes a base de nitrato
Higiene	- Potabilización del agua.
Transporte	- Coches eléctricos, catalizadores, híbridos, pila de combustible.
Ropa	- Evita la explotación ganadera o agrícola con la fabricación de fibras químicas sintéticas.
Deporte	- Protección en deportes extremos: nylon, neoprenos, fibra de carbono, kevlar.
Cultura	- Pegamentos, pinturas, pigmentos, adhesivos, siliconas.
Nuevas tecnologías	- Chips de silicio o arseniuro de galio para ordenadores. Baterías Ni-Cad. - Materiales piezoeléctricos para las turbinas eólicas - Células solares para la generación de energía renovable
Hogar	- Iluminación.
Construcción	- Materiales aislantes para reducir el consumo energético y las emisiones de GEI. - Recubrimientos vidrio, polímeros, células de parafina (amortiguadores térmicos).

Tabla 1: Aplicaciones de la industria química

A continuación, en la Fig. 1 mostramos el peso de las aplicaciones químicas por sector dentro de la UE-27, donde destacan caucho y plásticos:

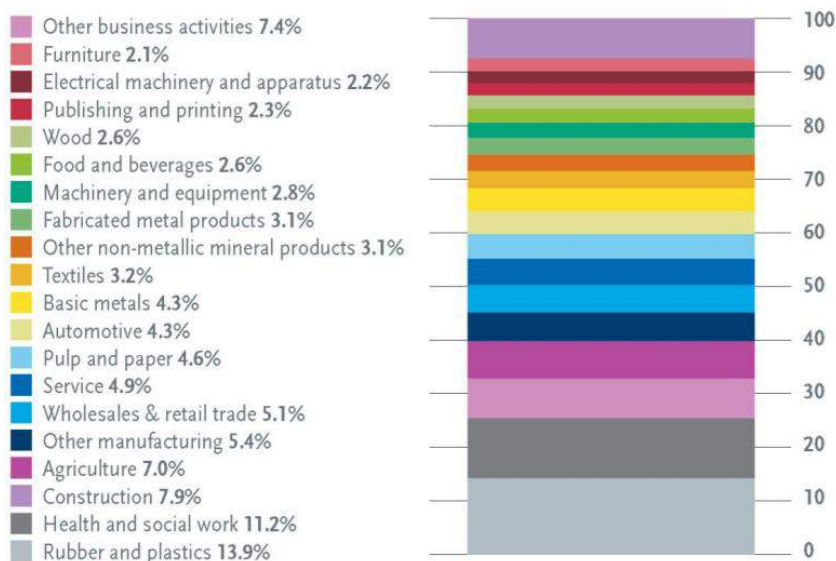


Figura 1: Producción de la industria por segmento de clientes en la UE-27

### 1.3. IMPACTO AMBIENTAL

Como es obvio toda esta producción química demanda grandes cantidades de energía y su generación tiene gran impacto medioambiental. El nivel de emisiones<sup>2</sup> sigue en crecimiento imparparable en el modelo actual de consumo, en 2015 la concentración atmosférica media mundial de CO<sub>2</sub> alcanzó por primera vez 400 ppm como mostramos en la figura 2.

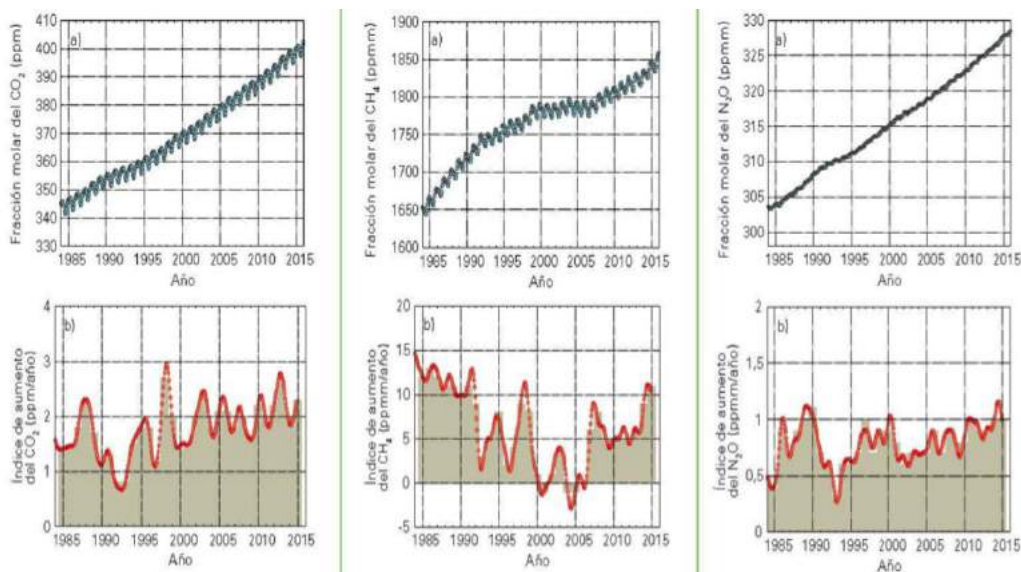


Figura 2: Índices de concentración de de partículas de dióxido de carbono en la atmósfera

<sup>2</sup> World Meteorological Organization Agency

Para poder asegurar el suministro energético futuro tenemos que replantearnos como obtener de una manera más eficiente dicha energía y a su vez garantizar la sostenibilidad, tanto ambiental como económica. A continuación, mostramos las diferentes fuentes de emisiones (GHG) en un esquema general de los procesos químicos industriales:

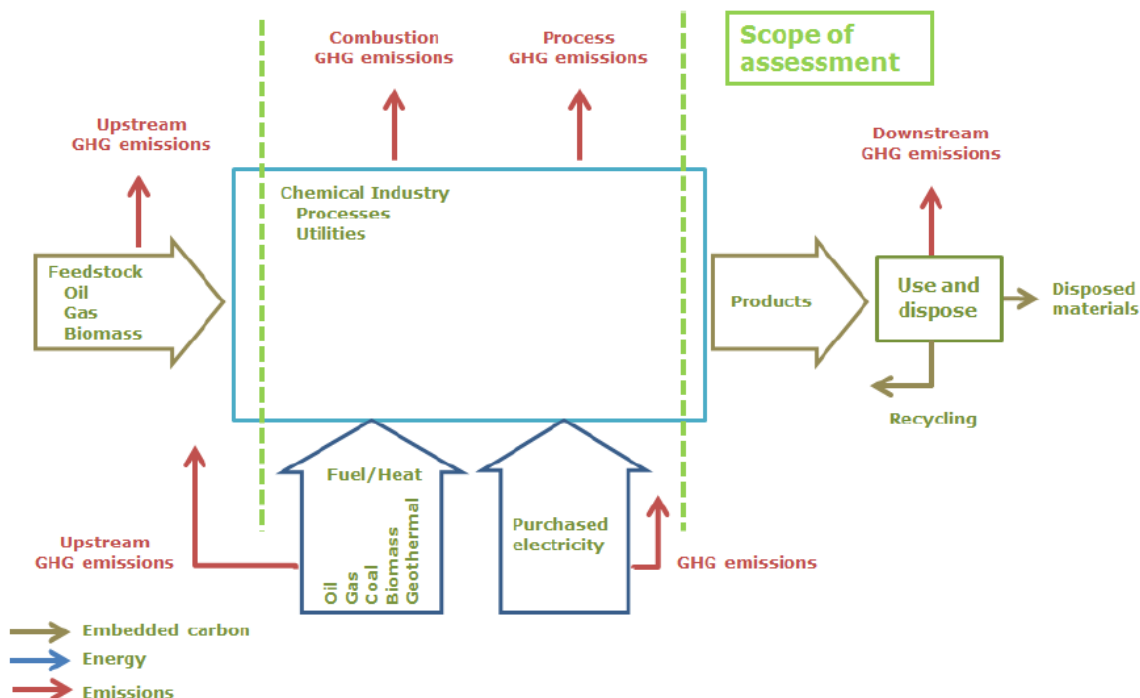


Figura 3: Ciclo de consumo-producción-emisiones de un proceso químico en la industria

### 1.4. IMPACTO ECONÓMICO

Hoy en día la industria química es un importante sector industrial presente en la mayoría de países, que dinamiza el crecimiento económico, genera empleo y ofrece diversidad de productos. En la fig. 3 mostramos los porcentajes monetarios que supone cada tipo de producto generado a través de la Industria Química. Hay que comentar que en 2015 <sup>3</sup>esta actividad generó €519 billones en total dentro de Europa.

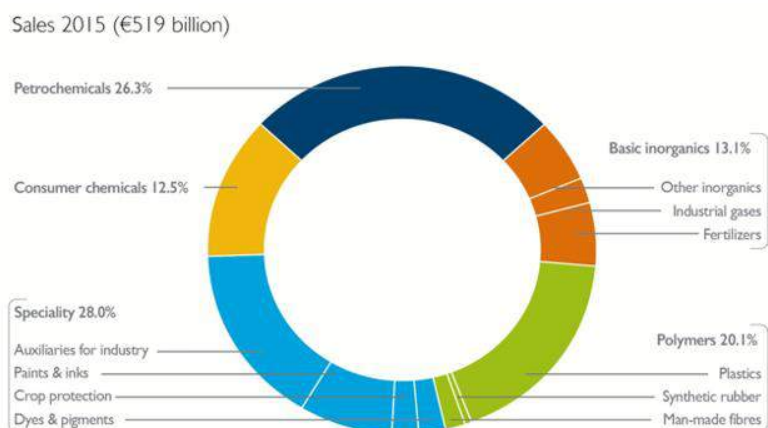


Figura 4: Petrochemicals and specialty chemicals account for half of EU chemicals sales

<sup>3</sup> Fuente Cefic Chemdata International 2016

## 1.5. IMPORTANCIA DEL AHORRO DE ENERGÍA

A pesar del gran beneficio económico que la industria produce, esta es a costa de la constante contaminación al medio ambiente y la utilización recursos naturales no renovables. Existen grandes retos para la industria química como son:

- Encontrar fuentes alternativas de energía que consigan satisfacer el crecimiento de la demanda de productos químicos además de la conservación de agua natural.
- Dejar de seguir dependiendo del petróleo, el gas natural y el carbón, representa un tercio de la energía combinada y la alimentación de la industria europea.
- Conseguir la reducción efectiva de las emisiones de GEI, una de estas posibilidades es el uso de la biomasa para la obtención de combustibles líquidos.

Los responsables políticos europeos y nacionales tienen un papel clave en el desarrollo de la industria y su transformación. Es esencial que en el marco de la política energética y climática en la UE se estimule el crecimiento sostenible y eficiente. Actualmente el debate en Europa se centra en cómo desarrollar estas políticas en las próximas décadas de forma unilateral. En estas condiciones, las innovaciones y las inversiones que pueden mitigar las emisiones mundiales deberán ofrecer todo su potencial.

## 2. EFICIENCIA ENERGÉTICA

Por tanto, esta transformación energética pasa por la implantación de tecnologías más eficientes y menos dependientes del carbón en el futuro. Las prácticas que se encargan de esta tarea son las de eficiencia energética, vehículo conductor de la evolución de la industria.

*“La eficiencia energética es una práctica que tiene como objetivo reducir el consumo de energía. La eficiencia energética es el uso eficiente de la energía, de esta manera optimizar los procesos productivos y el empleo de la energía utilizando lo mismo o menos para producir más bienes y servicios”<sup>4</sup>*

No cabe duda que el ahorro de energía (consumo responsable) y el uso eficiente de las fuentes de energía resultan esenciales para el futuro de todos los habitantes del planeta. Pero, también ahorrar energía en nuestra empresa nos va a proporcionar mejores tanto económicas como ambientales, además de otros beneficios para la organización.

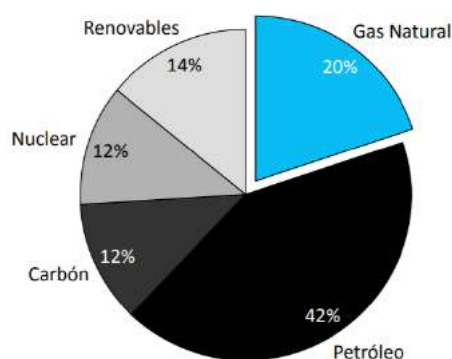


Figura 5: Generación energética en España por tipo de fuente energética

<sup>4</sup> Técnicas para la elaboración de auditorías energéticas en el sector industrial, 2010

## 2.1. BENEFICIOS DEL AHORRO DE ENERGÍA Y LA APLICACIÓN DE MEDIDAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EMPRESA:

TIPO	MOTIVO
Ahorro de costes	El coste de la energía constituye uno de los factores de mayor peso dentro de los costes totales de los procesos productivos
Reducción de la dependencia energética exterior	El origen de la energía consumida actualmente proviene de combustibles fósiles extraídos en terceros países.
Disminución de emisiones de CO <sub>2</sub>	El dióxido de carbono resultante de la combustión de combustibles fósiles es la principal fuente de emisiones de gases de efecto invernadero generadas por la actividad humana, por lo que una disminución en el consumo de energía y el cambio de combustibles fósiles por energías renovables favorece la disminución de emisiones de GEI contribuyendo así a la lucha contra el cambio climático
Mejorar la competitividad	La reducción de la cantidad de energía consumida para la generación de productos y servicios finales obtenidos favorece la competitividad de la empresa. Hay muchas empresas con consumo intensivo en energía que han cambiado sus negocios para ser más eficientes en la última década, y continúan mejorando, es decir, las demás empresas obtienen beneficios de los cambios que aplican
Potencia la incorporación de la innovación tecnológica	La búsqueda de la eficiencia energética va ligada a la innovación.
Mejora en el rendimiento de los equipos	El aumento en el control y seguimiento de equipos y el incremento del mantenimiento favorece la mejora del rendimiento, lo que además de favorecer la reducción de consumo de energía, fomenta la mejora del proceso productivo
Promoción de la sostenibilidad económica, empresarial y ambiental	Fomenta su imagen corporativa y contribuye a la integración de criterios de responsabilidad social empresarial
Nueva cultura del ahorro en la empresa	La implicación de todo el personal en el uso eficiente de la energía puede resultar un factor motivador y diferencial en nuestra empresa.
Mejora el desempeño ambiental global	Lograr objetivo ISO14001, contribuye a que la mayoría de empresas participen en la lucha contra el cambio climático

Tabla 2: Beneficios de implantar medidas de eficiencia energética en la empresa

### 3. DATOS Y REFERENCIAS DEL CONSUMO INDUSTRIAL QUIMICO

En el siguiente apartado vamos a realizar un breve informe sobre la situación de la industria química a nivel nacional e internacional. Los aspectos clave en el estudio del futuro de la industria química vendrán ligados a demografía, aumento tanto de demanda energética como producción y decisiones políticas, por tanto el estudio no se limita al estado actual sino que incluye previsiones sobre las tendencias esperadas en el futuro y su implicación en la industria química.

#### 3.1. CONTEXTO INTERNACIONAL

##### 3.1.1 Estado actual

- La industria química global ha crecido anualmente en un 7%, alcanzando € 3.534 billones<sup>5</sup> en 2016, este crecimiento viene desde los años ochenta y continúa creciendo en el presente. En los últimos 25 años la mayor parte de este crecimiento ha sido liderado por Asia, el cual posee actualmente la mitad de las ventas globales.
- Europa ha conseguido un crecimiento de ventas en los últimos años a pesar de que su peso mundial ha caído, siendo la mayoría de estas compuestas por petroquímicos y químicos especiales.
- El comercio industrial europeo es movido por un grupo de 7 países principalmente, (liderados por Alemania) y cuyo destino en las ventas es inter zona europea, sólo ¼ del total producido se exporta.

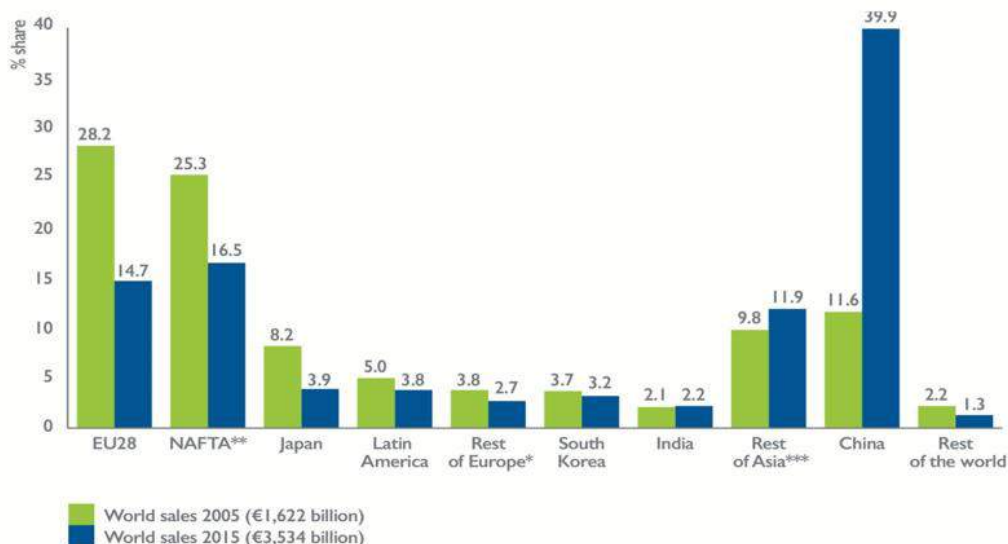


Figura 6: Chemicals sales by region

<sup>5</sup> Fuente Cefic Chemdata International 2016

- Los costes regulatorios del sector están teniendo un serio impacto en la rentabilidad, esto se muestra en la figura 7<sup>6</sup>.

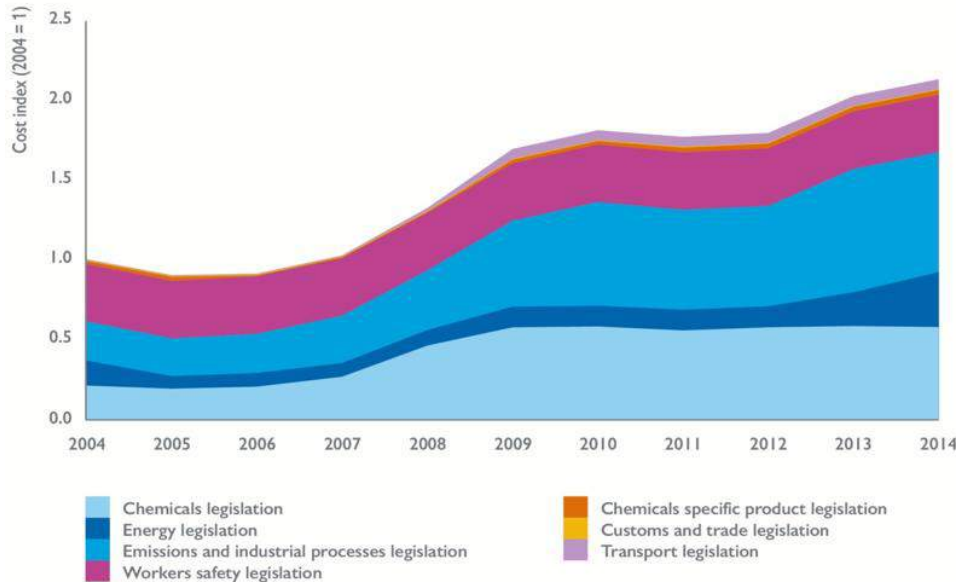


Figura 7: Legislation cost during the period 2004-2014

- En Europa consumo energético y emisiones caen respecto a lo marcado en los últimos años (-22%), lo cual es positivo, pero siendo todavía insuficiente para lograr las líneas rojas propuestas en los próximos años.
- El peso de las energías renovables se empieza a hacer notar frente a otros métodos de producción energética, lo cual es un dato positivo.

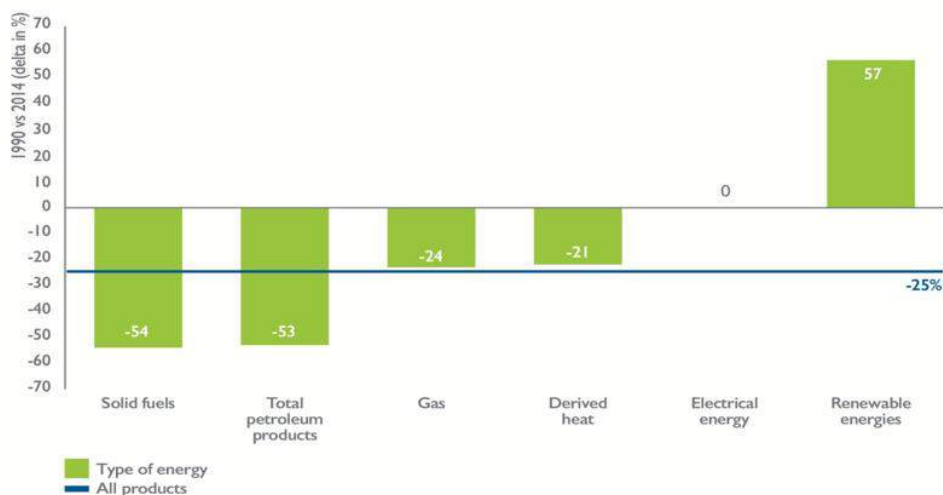


Figura 8: Fuel and power consumption by source in the EU chemical industry

<sup>6</sup> Fuente Cefic Chemdata International 2016



### 3.1.2 Tendencias demográficas

- Aumento inminente de población, esto pondrá a India y China como los países más poblados siendo EEUU la tercera y el espacio urbano se triplicará.
- El cambio vendrá dado por el envejecimiento de la población de los países más avanzados y el aumento de la esperanza de vida, esto provocará un cambio en los hábitos de consumo.

### 3.1.3 Tendencias productivas

- Debe incrementarse la producción industrial para atender a este crecimiento demográfico más allá del poder de abastecimiento natural. La demanda de recursos aumentará estimamos en un 30% agua, 40% energía y 50% alimentos. La industria europea tendrá que ser capaz de orientar su producción de bienes a las áreas de mayor densidad de población, es decir, los mercados emergentes.
- En 2035 el 90% de las exportaciones de petróleo de Oriente Medio se destinarán al continente asiático. El crecimiento de demanda se estima del +1,6% anual, siendo China e India los responsables directos de la mitad del crecimiento. Por otra parte, el shale gas deberá cubrir el 37% de la demanda creciente de gas y representará el 16% de la demanda de gas mundial y el 53% de la producción estadounidense.

### 3.1.3 Tendencias económicas

- El crecimiento se estima del +3% anual, con la posibilidad de que las economías emergentes superen a las actuales G7. China sería la principal economía seguida de India, EEUU y Brasil. En Europa Rusia desbancará a Alemania y Reino Unido, Francia, Italia y España caerán en beneficio de México y Turquía. El despegue de la clase media promoverá servicios financieros, industria del ocio, servicios añadidos, sanitarios y educativos.
- La industrialización aumentará al mismo ritmo que el poder adquisitivo de los consumidores. En los países emergentes determinado por el crecimiento de la población y del poder adquisitivo. En los países europeos determinado por la demanda asociada a productos y servicios eficientes energéticamente, la protección del medio ambiente, y el incremento de edad de la población.
- La Unión Europea podría perder su relevancia a medida que incremente su dependencia a las economías productivas en detrimento de su industria, lo que podría desenlazar en la expulsión de sus miembros más débiles.

### 3.2. CONTEXTO NACIONAL

La Industria Química continúa consolidándose como uno de los sectores claves de la economía española. Sus más de 3.000 empresas, con una cifra de negocios conjunta de 59.000 millones de euros, generan el 12,6% del producto industrial bruto, y más de 540.000 empleos directos, indirectos e inducidos.

Datos clave del Sector Químico Español<sup>7</sup>:

Nº de empresas	Cifra de negocios	Contribución Económica	Exportaciones	Ventas en el exterior
3.034	59.020	12,60%	32.473	55,00%

Empleo Directo	Empleo Generado	Contratos Indefinidos	Retribución media por empleado	Ventas por Empleado
183.000	>540.000	94%	38.087	329.000 €

Gasto en I+D	Personal Investigador	Empresas Investigadoras	Consumo Aparente	Inversión
25%	23%	57%	1.386 €	12,30%

Tabla 3: Indicadores económicos de la industria química española

Precisamente en una etapa en el que la crisis, más allá de la destrucción de empleo ha provocado también una precarización laboral que sin duda constituye uno de los problemas fundamentales de nuestro país. A pesar de esto en el sector químico:

- Los puestos de trabajo mantienen una evidente calidad<sup>8</sup> tanto por su estabilidad, el nivel de retribución y la indispensable inversión en formación.
- La calidad del empleo del sector genera a su vez una mayor contribución fiscal por trabajador, ya que vía IRPF y cotizaciones se alcanzan cifras cercanas a los 20.000€ por empleado y año.

Dos factores continúan siendo claves en el futuro de la industria química: su capacidad exportadora y su liderazgo innovador. En el primer caso, el sector es ya el segundo mayor exportador de la economía<sup>9</sup> y destina a mercados exteriores el 55% de la producción. Por lo que respecta a la innovación, la química lidera la inversión y el gasto en I+D+I en España, así como la contratación de personal investigador.

<sup>7</sup> Fuente: Feique

<sup>8</sup> 94% de contratos indefinidos, 38.000€ por trabajador y año, 223€ anuales por empleado

<sup>9</sup> CNAE

## 4. DESARROLLO DE LA INDUSTRIA

### 4.1. RUMBO ACTUAL PARA LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los estados miembros de la UE tienen claro los objetivos energéticos y sobre el cambio climático para 2020:

1. Un 20% de reducción de emisiones de los GEI en 2020 comparados a los niveles de 1990.
2. Una cuota del 20% de energías renovables en el mix energético de la UE en 2020.
3. Un 20% de ahorro de energía en 2020 en comparación con los niveles proyectados actualmente en la industria.

La Comisión Europea también publicó una Hoja de Ruta 2050 energético para investigar posibles escenarios de des-carbonización en el sistema energético actual.

- Proporcionar evidencias cuantitativas y cualitativas sobre las opciones viables para que la industria química europea contribuya a los objetivos de reducción de emisiones de GEI a largo plazo. Estas opciones se aplican a las tecnologías y al desarrollo de productos y para otros sectores de la economía de la UE.
- Basándose en hechos, definir una visión a largo plazo para la industria química europea dentro de una Unión Europea que progrese hacia un futuro bajo en emisiones de GEI mediante la definición de una serie de escenarios plausibles en el contexto de la evolución del mercado global.
- Fundir en una guía dichas recomendaciones para los responsables políticos e internamente para la industria química europea en función de los escenarios estudiados.

	<i>Indicadores<sup>10</sup></i>	<i>Pasado</i>	<i>Presente</i>			<i>Objetivos</i>
		2008	2014	2015	2016	
<i>Cambio climático</i>	Emisiones de efecto invernadero (indicador 1990 =100)	90,31	77,39	77,88	-	80
	% Energía renovable en la energía final bruta	11.0	16,1	16,7	-	20
	Consumo de energía primaria	1.692,40	1.508,30	1.529,60	-	1,483
	Consumo de energía final	1.179,70	1.059,60	1.082,20	-	1,086

Tabla 4: Indicadores de lucha cambio climático y objetivos países EU

<sup>10</sup> Fuente: Comisión Europea

La industria química tiene un papel crucial en la transformación de Europa hacia un futuro con menor consumo de energía y menos carbono. Las oportunidades que se ofrecen en el sector y los desafíos que enfrenta se podrían describir en *cuatro escenarios probables*:

1. **Escenario de continuación de la fragmentación**, Europa continúa con sus políticas actuales, pero reduce la ambición de 2050 a una reducción de emisiones del 40% en comparación con 1990 en ausencia de una acción mundial contra el cambio climático.
2. **Escenario de Europa aislada**, continúa la actual fragmentación de las políticas energéticas y climáticas con una ambición global baja, pero Europa intensifica sus ambiciones políticas buscando una reducción del 80% en las emisiones de GEI en 2050 en comparación con 1990, incluso en ausencia de un acuerdo global.
3. **Escenario de Acción Global Diferenciada**, todas las regiones económicas clave toman medidas con una reducción global de emisiones de GEI de aproximadamente 50% entre 1990 y 2050. Las responsabilidades diferenciadas resultan en un objetivo de reducción de emisiones de GEI del 80% para Europa. Hay poca convergencia global en los enfoques de política seguidos.
4. **Escenario Nivelado**, se alcanza un acuerdo global para mitigar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones globales de GEI en un 50% entre 1990 y 2050. Las políticas se eligen para garantizar la igualdad de condiciones para la industria manufacturera mundial a través de un carbono mundial uniforme señal de precio

La reducción más profunda de las emisiones de gases de efecto invernadero es técnicamente posible mediante la descarbonización del sector energético y, además, para el período 2030-2050, mediante la captura y el almacenamiento de carbono aplicados a las emisiones de la industria química. Estas opciones son costosas y requieren avances tecnológicos. Se enfrentan a varias barreras que están fuera del control de la industria química como describimos en los siguientes apartados.

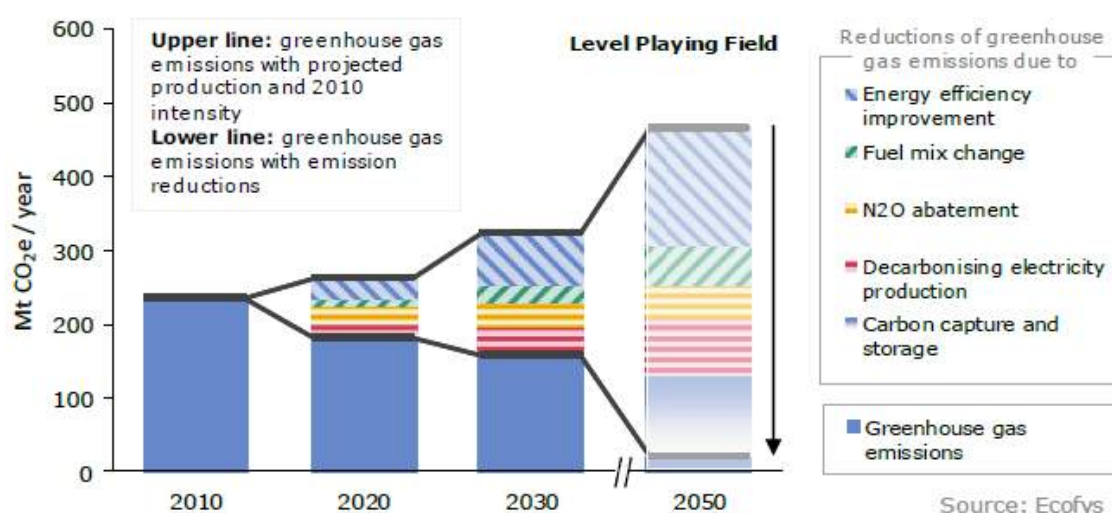


Figura 9. Level playing field in greenhouse emissions

De la Figura 9 se puede concluir que hay varias rutas para lograr la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en un escenario 4 Nivelado:

1. Las ambiciosas mejoras en la eficiencia energética podrían reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en aproximadamente un 35% en 2050 en comparación con una situación sin más desarrollos de intensidad de gases de efecto invernadero después de 2010 (es decir, la línea superior en la figura 1b). Sin embargo, existen diferencias significativas en el potencial de eficiencia energética entre los diferentes subsectores, regiones y sitios químicos, dependiendo de, por ejemplo, acciones ya emprendidas.
2. Los cambios en la mezcla de combustible para la generación de calor utilizados para satisfacer la demanda de calor para procesos químicos contribuirían a una reducción adicional de alrededor del 10% para 2050 en comparación con una situación sin gases de efecto invernadero las mejoras de intensidad más allá de 2010 (por ejemplo, un cambio hacia gas natural o biomasa). Parte de esta reducción de emisiones de gases de efecto invernadero podría compensarse con las emisiones de gases de efecto invernadero en el cultivo de la biomasa en cuestión.
3. Las emisiones de N<sub>2</sub>O, un gas de efecto invernadero emitido en la producción de ácido nítrico y algunos otros productos químicos, se acercarán a cero. Esta opción ofrece un potencial similar a los cambios en la mezcla de combustible para la generación de calor para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la industria química hacia 2050.

Las tres opciones anteriores juntas, que permanecen bajo control de la industria química, tienen el potencial de reducir la intensidad de emisiones en un 20% en 2030 y un 55% en 2050 en comparación con una situación sin mayores mejoras en la intensidad de gases de efecto invernadero más allá de 2010. Estas opciones reducirían las emisiones de gases de efecto invernadero en un 15% en 2030 en comparación con los niveles absolutos de 2010 con la estabilización alrededor de estos niveles hacia 2050, aprovechando una reducción del 50% en 2010 en comparación con 1990, como se estimó previamente en otros estudios.

## 4.2. MARCO POLITICO

### 4.2.1 Frenos a la Industria

Como hemos indicado antes la Unión Europea se enfrentará a diferentes palancas que impidan el cambio en el modelo de producción energética hacia el escenario más óptimo climáticamente. Podemos destacar:

1. La competitividad y el crecimiento de la cadena de valor de la industria química europea y su capacidad para atraer inversiones se verán perjudicados por acciones aisladas en términos de políticas climáticas y energéticas, que llevarán a un aumento de los costes para las operaciones europeas:
  - Las diferencias actuales en los precios de la energía y las materias primas con las regiones competidoras clave fuera de Europa ponen en peligro la competitividad global de la industria química europea y la cadena de valor que respalda. Estas diferencias se deben a los precios de la energía y los costos de las políticas. Limitar las opciones de mezcla de combustible, incluidas las restricciones para explotar el gas no convencional de manera sostenible, empeoraría la desventaja de Europa, obstaculizaría las inversiones y podría limitar el desarrollo de algunas opciones cruciales de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.
  - Las diferencias crecientes en los costes de las políticas en un marco de política continuado y fragmentado se calculan en los costes directos de CO<sub>2</sub> en 1.700 millones de euros anuales en 2030 y en 3.100 millones en 2050 para la industria química europea. Esto representa una amenaza

para la competitividad de la industria química europea y su capacidad para satisfacer la creciente demanda de productos químicos con producción en Europa. La acción climática europeo unilateral para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 80-95% en 2050 en comparación con 1990 tendría un mayor efecto de deterioro en la producción en Europa y la relación comercial resultante. El nivel de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzado en Europa, en caso de aumentar las importaciones, se lograría a expensas del aumento de las emisiones en otros lugares. No habría una reducción general en las emisiones globales de gases de efecto invernadero o incluso un aumento potencial.

2. La fragmentación de las políticas y los enfoques aislados de la UE reducirán el potencial de la industria química europea para la energía y las soluciones de eficiencia de gases de efecto invernadero y podrían aumentar las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Entre 1990 y 2010, la industria química europea pudo lograr una reducción absoluta de emisiones de gases de efecto invernadero del 50% como se estimó anteriormente y atraer inversiones. Las mejoras en la eficiencia energética continuarán contribuyendo más a la reducción futura de las emisiones de gases de efecto invernadero. La reducción de N<sub>2</sub>O y los cambios en la mezcla de combustible para la generación de calor son otras opciones importantes disponibles para la propia industria química. Todas las opciones anteriores se basan en una mayor innovación y pueden lograr una reducción de emisiones de gases de efecto invernadero del 15 al 25% para 2030 en comparación con los niveles de 2010. En un escenario de igualdad de condiciones, la industria química europea podría satisfacer la creciente demanda de productos químicos con producción en Europa con una reducción de la intensidad de las emisiones de gases de efecto invernadero.

### 4.3. DEPENDENCIAS DE LA INDUSTRIA QUÍMICA ESPAÑOLA

A pesar de que las decisiones estratégicas de las empresas químicas deberían ser la que determinaran su futuro, la competitividad de la industria española tiene dependencia directa de las políticas gubernamentales en materias de energía, transporte e innovación además de los desarrollos normativos a nivel internacional, nacional, autonómica y local. A nivel nacional hemos alcanzado ineficiencias atípicas frente a nuestros competidores, son los casos de la compleja estructura administrativa, el funcionamiento de nuestro mercado energético o la rigidez de nuestro mercado laboral en materia de flexibilidad o movilidad.

#### 4.3.1. Política nacional de eficiencia energética

##### PIN2020: Plan Integral de Política Industrial 2020<sup>11</sup>

Forma parte de las actuaciones sectoriales de la Estrategia de Economía Sostenible del gobierno aprobada en diciembre 2009 con el objetivo de renovar el modelo de crecimiento de la economía española convirtiéndolo en más eficiente en el uso de recursos y más sostenible en el ámbito económico, medioambiental y social dando protagonismo a la actividad industrial como motor de creación de empleo. Para conseguir los objetivos estratégicos enunciados, a la vista de las debilidades identificadas en el tejido industrial español, la política industrial se tiene que articular en torno a cinco ejes prioritarios:

1. Mejorar la competitividad de la Industria.
2. Fomentar la innovación y la I+D+i.
3. Fomentar el crecimiento y el dinamismo de las PYMES.
4. Favorecer la orientación de las empresas a los mercados internacionales.
5. Reforzar los sectores estratégicos.

---

<sup>11</sup> Gobierno de España

### 4.3.2. Problemas y oportunidades que se plantean

#### PROBLEMAS<sup>12</sup>

##### 1. Energéticos:

##### 1.1. Mix de producción energética ineficiente:

**Precio competitivo de la electricidad:** Promover un Mix de Producción Energética que garantice un precio competitivo de la electricidad, asegure el suministro y reduzca los niveles de emisiones contaminantes. Deben por tanto priorizarse las tecnologías de producción que equilibren adecuadamente tres conceptos: coste de kW, emisiones asociadas y garantía de suministro (que incluye la necesidad de reducir la dependencia exterior).

##### 1.2. Mercado poco transparente:

**Reducir déficit de tarifa:** deben articularse medidas que permitan reducir el déficit de tarifa, acometiendo la reducción de la compensación excesiva de las centrales nucleares e hidráulicas, claramente amortizadas – tal y como constata la Comisión Europea- y cuyos costes de generación son muy inferiores a los precios del ‘pool’.

**Fomentar contratos bilaterales:** Fomentar los contratos bilaterales a plazo, físicos y financieros, no referenciados al precio pool, esencialmente para los consumidores electro-intensivos, para los que los comercializadores deben diseñar ofertas específicas predecibles, modulables y estables, adaptadas a sus características especiales.

**Mayor concurrencia en los mercados:** Fomentar la concurrencia en los mercados de todos los tipos de generación, incluidas las energías renovables, para incrementar la competencia.

##### 1.3. Imposición energética:

**Reducir impuesto eléctrico:** Establecer en la normativa nacional la exención de la tributación del impuesto eléctrico cuando la electricidad sea utilizada principalmente a efecto de reducción química o procesos electrolíticos y metalúrgicos en aplicación de la Directiva Europea 2003/96/CE, y limitar el impuesto a 0,5/MWh, tipo mínimo comunitario.

##### 1.4. Costes regulados de la electricidad:

**Excluir conceptos ajenos al suministro:** De forma general, excluir de los costes regulados todos aquellos conceptos no relacionados con el suministro eléctrico.

**Modificación de la potencia contratada:** Las tarifas de acceso deben ofrecer la máxima flexibilidad para modificar la potencia contratada por cada consumidor industrial en cada periodo tarifario, facilitando el acceso de la industria a niveles de tensión superiores.

**Reducir peajes niveles 6.X:** Establecer una diferenciación de precios de los peajes para los niveles 6.X con reducciones en los términos de energía y de potencia, para los consumidores electro-intensivos con SGDI (interrumpibilidad) y certificación 50.001.

**Aplicar exenciones de redes de distribución cerradas:** Incluir. Mediante el instrumento legislativo que proceda- las exenciones que la Directiva 2009/72/CE prevé para los supuestos generales de complejos

---

<sup>12</sup> Fuente Feique

industriales dentro de la categoría de redes de distribución cerradas.

#### 1.5. Interconexión energética insuficiente:

**Incrementar interconexión al 10%:** Impulsar el desarrollo de la interconexión energética para alcanzar el mínimo del 10% recomendado por la Unión Europea.

**Mantener interrumpibilidad:** Mantener la normativa actual de gestión de demanda de interrumpibilidad y su nivel de remuneración mientras no se revierta la situación de isla energética de España.

#### 1.6. Tratamiento de la cogeneración:

**Fomentar la cogeneración:** el fomento de la cogeneración es una propiedad establecida por la UE fundamentada en los beneficios que esta tecnología proporciona en términos de ahorro de energía primaria, seguridad de suministro, eliminación de pérdidas en la red, y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Bajo esta premisa deben garantizarse la compensación de la cogeneración, ya sea a través del Régimen Especial u otros mecanismos que la impulsen. Particularmente es necesario reducir y eliminar la doble imposición que afecta a la cogeneración –derivada de la Ley 15/2012 de Medidas Fiscales para la Sostenibilidad Energética– por consumo de combustible y producción de electricidad.

#### 1.7. Creación de un Mercado Energético Europeo

**Mercado energético europeo:** Promover la existencia de un mercado europeo del gas y la electricidad que genere de forma efectiva una mayor competencia con repercusión en la reducción de los precios energéticos.

## 2. Marco regulatorio:

### 2.1. Sobre-regulación y calidad normativa:

**Desarrollar regulación inteligente:** Colaborar con el Gobierno para que se desarrollen estrategias de Regulación inteligente con el fin de conseguir un marco regulador más eficiente, flexible, simple y claro que contribuya a mejorar la competitividad y la seguridad jurídica de nuestras empresas, especialmente las PYME. En este sentido se trabajará en diversos ámbitos:

- Continuar avanzando en la simplificación del stock de regulación existente, reduciendo las cargas que afectan a las empresas.
- Mejorar la calidad técnica normativa simplificando la redacción de las normas y reduciendo el volumen de los textos al mínimo imprescindible para que la regulación cumpla sus objetivos. Asimismo, reagrupar la normativa dispersa que afecta a un mismo tema o sobre la que se han publicado sucesivas modificaciones (textos refundidos).
- En aras de dinamizar el funcionamiento de la administración, promover la extensión del ámbito del silencio positivo a escala nacional y autonómica. En la misma línea, la duración de la tramitación y concesión de las solicitudes de los permisos de actividad, construcción, operación (admitido el principio de ventanilla única) debe ser igual o menor al aplicado en otros países E27 y siempre inferior a tres meses.

**Realizar análisis de impacto de la normativa:** Instar a las Administraciones a realizar los preceptivos análisis de Impacto de la Normativa

### 2.2. Distorsión de la Unidad de Mercado:

**Garantizar la unidad de mercado:** Promover una Ley de Garantía de la Unidad de Mercado que permita la libre circulación de bienes, servicios e inversiones.



### 2.3. Transposición garantista de Directivas en España:

**Transposición de directivas:** Evitar la introducción de exigencias superiores a las establecidas por las Directivas Comunitarias en los procesos de transposición de las mismas al Ordenamiento Jurídico nacional (Gold Plating). Debe además tenerse en cuenta que la legislación básica estatal puede ser a su vez objeto de desarrollo e implementación por las CCAA, lo que podría duplicar el problema. El establecimiento de exigencias superiores respecto a la normativa comunitaria en la mayoría de los casos sólo conduce a situar a las empresas establecidas en nuestro país en clara desventaja competitiva respecto a sus competidores.

### 2.4. Política de Cambio Climático ineficaz:

**Proteger sectores expuestos:** La Comisión Europea debe volver a evaluar qué sectores están expuestos a deslocalización con objeto de determinar la asignación de derechos de emisión de forma gratuita hasta 2019. Actualmente existe el riesgo de que, dependiendo de los criterios que se definan a estos efectos, algunos sectores industriales claves para nuestro país no queden definidos como expuestos y que se genere una nueva pérdida de competitividad para nuestro tejido productivo.

**Incrementar compensaciones sectores expuestos:** Incrementar las compensaciones de los costes indirectos del CO<sub>2</sub> a los sectores expuestos a fuga de carbono, o en su defecto, establecer un fondo Europeo que evite distorsiones del mercado por el diferencial del volumen de ayudas establecidas en cada país

## 3. Transporte de mercancías:

### 3.1. Insuficiente desarrollo de infraestructuras y servicios:

**Desarrollar corredor mediterráneo:** Garantizar el desarrollo del Corredor Ferroviario Mediterráneo con ancho UIC, extendiendo el mismo hasta Huelva.

**Desarrollar corredores Atlántico y central:** En el marco de la Red Transeuropea de Transporte, continuar impulsando el desarrollo de los Corredores Atlántico y Central, así como los ejes Cantábrico-Mediterráneo (Bilbao-Valencia) y Atlántico Mediterráneo (Valencia-Portugal)

**Mejorar Intermodalidad:** Promover el desarrollo de la intermodalidad, eliminando los cuellos de botella y posibilitando la gestión más eficiente de las infraestructuras existentes, incrementando simultáneamente la eficiencia y productividad en los sistemas, organización, procedimientos de trabajo y estructuras ferroviarias.

**Mejorar regulación de mercancías peligrosas:** En el ámbito del transporte por carretera, coordinar las restricciones a la circulación de mercancías entre los tres territorios donde ejercen competencias la DGT y las CCAA de Cataluña y el País Vasco, promover los corredores 24h/365 días, eliminar restricciones genéricas a la circulación y replantear la Red de Itinerarios autorizados para las Mercancías Peligrosas (RIMP).

### 3.2. Pesos y dimensiones no armonizados

**Promover 44 toneladas:** Lograr la autorización de una carga máxima de 44 Toneladas para los actuales vehículos de transporte de mercancías de 5 ejes (frente a las 40 actuales) en todo el territorio nacional.

## 4. Emprendimiento

### 4.1 Potencia el ecosistema emprendedor

**Desarrollo de la Ley de emprendedores:** Intentar desarrollar el normativo de la Ley de Emprendedores, tanto directamente como a través de CEOE, promoviendo preferentemente el desarrollo de medidas fiscales y

financieras que estimulen la creación de empresas.

#### 4.2. Débil acceso a la Financiación

**Mantener instrumentos públicos:** Respecto a la financiación pública, es necesario mantener los instrumentos de financiación actuales y dotarlos con mayores cuantías en la medida en que comience a producirse un entorno de reactivación económica, ya sea a nivel internacional o nacional.

**Eliminar morosidad:** Con independencia de lo anterior, el Gobierno debe también continuar eliminando la morosidad de las Administraciones Públicas- especialmente en el ámbito sanitario- para evitar que se reproduzcan situaciones que provocaron la desaparición de empresas y que continúan generando la desconfianza internacional hacia la solvencia de nuestro país.

### POSIBLES DESARROLLOS

#### 1. Globalización de la industria:

##### 1.1 Apoyo a la internacionalización

**Mantener incentivos:** Es fundamental mantener el esfuerzo presupuestario y la optimización los instrumentos para promover la internacionalización, así como establecer incentivos fiscales que las promuevan.

**Agilizar visados de negocios:** Otro objetivo es solicitar la agilización del procedimiento de obtención de visados de negocios para facilitar y agilizar los intercambios comerciales.

#### 2. Innovación:

##### 2.1. Insuficiente cultura innovadora en Pymes

**Impulsar transferencia tecnológica:** En 2013 inició el Open Innovation Marketplace, plataforma informática para favorecer la “innovación abierta” y la transferencia tecnológica.

**Promover clústers de innovación:** También iniciará el Programa de Promoción de los Clúster de innovación multisectorial. A diferencia del clúster tradicional, los de innovación multisectorial se basan en iniciativas conjuntas de las empresas que aprovechan la relación cliente proveedor para acelerar los procesos de innovación y consecuentemente mejorar la introducción de nuevos productos y servicios que permiten aumentar las ventajas competitivas a lo largo de toda cadena de suministro.

##### 2.2. Optimizar las Políticas de apoyo a la I+D+i

**Mejorar marco fiscal:** Con independencia del volumen de los incentivos disponibles, es importante mejorar el marco fiscal de ayudas a la I+D+i facilitando la gestión administrativa y cobro de las mismas y habilitando mecanismos que faciliten una utilización más efectiva y amplia de las deducciones y créditos fiscales.

**Simplificación de ayudas:** Asimismo, deben seguir reduciéndose las diferentes cargas administrativas y financiera- fundamentalmente avales- que se exigen a las empresas solicitantes, ya que éste suele ser el factor que en mayor medida determina la decisión de las empresas- especialmente en las pymes- para acudir a los instrumentos establecidos.

**Suschem España+Gobierno:** Por lo que se refiere a la actividad de SusChem (Plataforma tecnológica española de química española) España, dado el conocimiento específico sobre el sector químico y la I+D+i necesaria para

su desarrollo, se colaborará activamente con la Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e innovación en diversos ámbitos:

- Horizonte 2020
- Eficiencia Energética y de recursos: SPIRE2030
- Bioeconomía: BRIDGE
- Biorrefinería
- Materias Primas Estratégicas: CRM Innonet
- Plan Estrategia Estatales

### 3. Talento y RRHH:

#### 3.1. Marco Laboral con margen de mejora

***Flexibilidad y movilidad:*** Las medidas ya adoptadas o pendientes de desarrollo mejorarán el marco laboral y la empleabilidad en el sector químico.

***Impulso del convenio sectorial químico:*** También continuará desarrollándose el Convenio General de la Industria Química, cuya eficacia ha sido de especial relevancia desde su origen facilitando el diálogo con las organizaciones sindicales y dotando al sector de un marco laboral estable y con muy baja conflictividad.

### 4. Responsabilidad Social Empresas y Sostenibilidad:

#### 4.1. Mejorar la RSE en las Empresas

- Guía de RSE del sector químico
- Certificación
- Marco público de la R

## CAPÍTULO 2

### *Medidas de eficiencia energética*

#### 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo analizamos los medios que utiliza la eficiencia energética para llegar a su objetivo, es decir, como ahorrar electricidad, vapor, agua de refrigeración, costes de mantenimiento, costes de proceso, etc...

Es importante recordar que la eficiencia energética no sólo se basa en el recorte y optimización en el uso de la energía (consumo) también involucra la generación, distribución, uso y recuperación de energía.

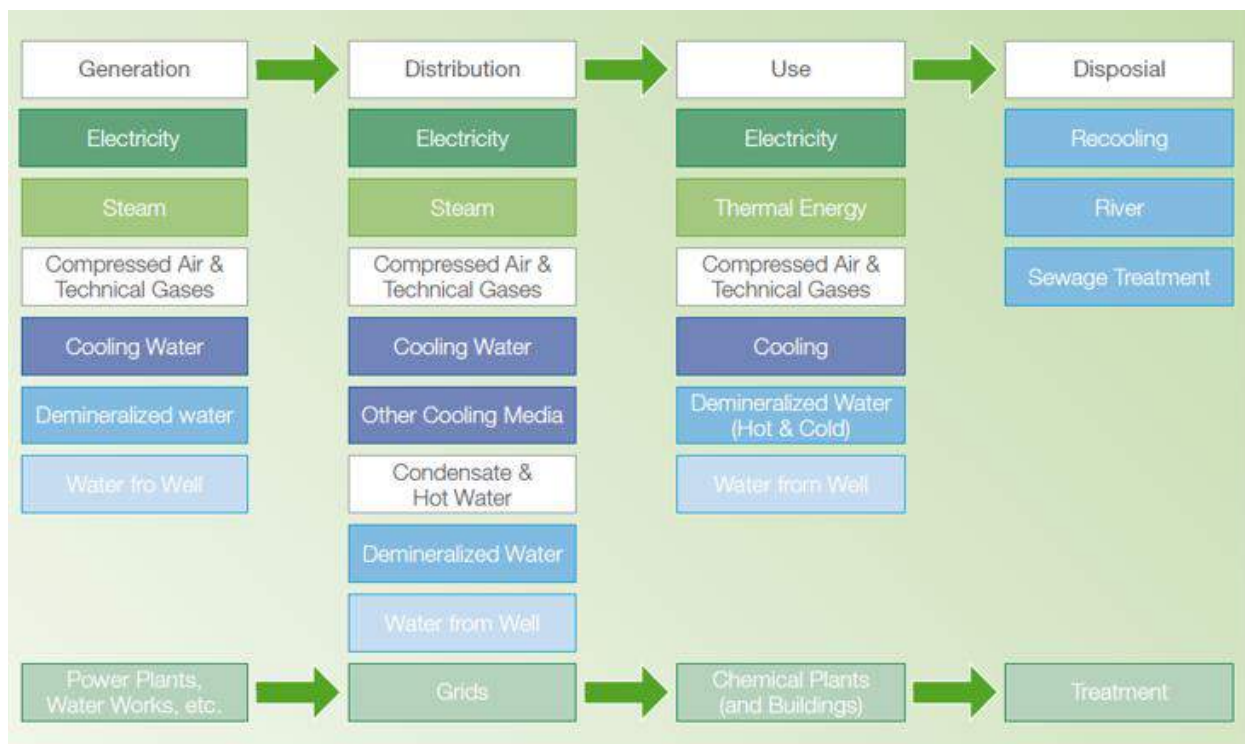


Figura 10: Flujo de energía (y materias primas) típicos de una planta química

Además, el uso de aire comprimido, la iluminación y calefacción tendrán un impacto que no podemos despreciar a la hora de realizar este análisis y también serán objeto de estudio. Aunque la reducción energética aplicada puede llegar a ser del 40% gracias a la eficiencia energética conviene marcarse objetivos realistas, un punto de partida puede ser un ahorro anual del 5%. También comentar que el hecho de realizar cambios y medidas enfocadas al ahorro de energía/económica en una organización no es igual a empeorar el producto final.

## 1.1. COSTES DEL PROYECTO

Las empresas desconocen que no todas las medidas de eficiencia energética tienen una inversión alta en capital, de hecho, existe una gran cantidad de medidas “low cost” que se pueden aplicar. Podemos diferenciar por tanto las medidas de eficiencia en dos grupos: las de bajo coste y las de gran capital de inversión.

### MEJORAS DE BAJO COSTE

Es demostrable que hasta un 20% de la energía total puede ser desperdiciada a través de servicios mal controlados, como agua de refrigeración, aire comprimido, vapor y nitrógeno que puede evitar con medidas simples de “limpieza”.

---

**Ejemplo 1-1.** *Identificar y reparar fugas, trampas de vapor, ineficiencias en el quemador, caldera, aislamientos deficientes, suministros no adaptados a la demanda, bombas y ventiladores en funcionamiento a destiempo...*

---

### MEJORAS DE COSTE ELEVADO

Aunque parezca lo contrario el coste de capital adicional de elegir opciones de eficiencia energética de alto capital en la etapa de diseño puede ser bajo en comparación con los beneficios a medio/largo plazo. La mayoría de las decisiones de diseño generalmente implican elegir entre posibles rutas de proceso.

---

**Ejemplo 1-2.** *Reducción de las emisiones totales de NOx instalando quemadores de bajo NOx o mejorando la recuperación de calor para reducir el combustible total consumido. La segunda opción posiblemente tendría un costo de capital más alto, pero daría como resultado ahorros de coste en operación*

---

NOTA: Una vez empezemos a clasificar las medidas concretas aplicables dentro de la industria también incluiremos ratios de inversión, al menos de forma aproximada, sobre capitales bajos, medios y altos, siendo estos últimos los referidos a grandes cambios sobre los aparatos o en el modo de generar la energía.

## 1.2. SISTEMAS DE GESTIÓN DE ENERGÍA

A continuación, vamos a describir los principios de los sistemas de gestión estándar. Es importante: la certificación no es un requisito obligatorio para conseguir un resultado efectivo, pero es útil en términos de aspectos legales.

Un sistema de gestión de energía busca el cumplimiento de los objetivos de eficiencia energética y que las mejoras implantadas sean monitorizadas en cada etapa con mediciones. Existirá por tanto un compromiso de gestión, roles diferenciados y responsabilidades claras, procedimientos estandarizados, sistemas de monitorización y documentación los cuales forman la base de dicho sistema de gestión. Las líneas de acción y los tiempos de actuación pueden ser supervisados por auditores internos o externos especializados en la materia.

Al igual que otros sistemas de gestión (por ejemplo, gestión de la calidad), los sistemas de gestión energética siguen el ciclo “**plan - hacer- verificar - actuar** ” como podemos ver en la figura 3.

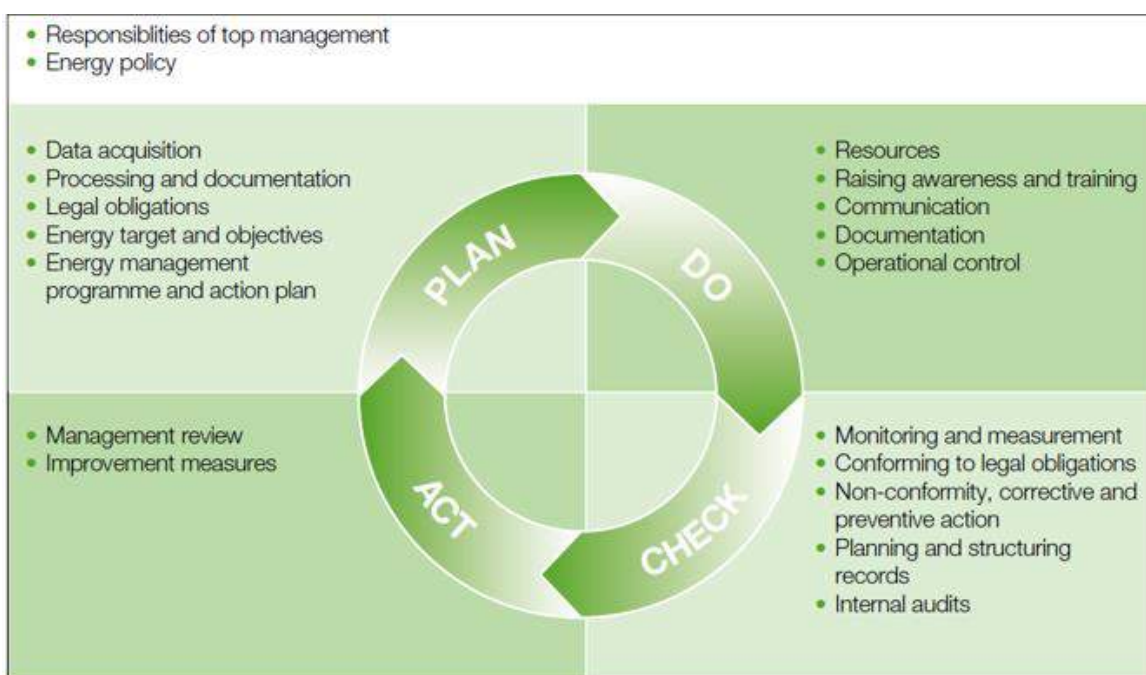


Figura 11: Círculo de Deming orientado a un proyecto de eficiencia energética

Un sistema de administración de energía certificado es más fácil de implementar cuando se puede integrar en un sistema de gestión existente.

### 1. PLAN

Los objetivos, el compromiso con dichos objetivos y la adquisición de datos se establecen en la primera fase de planificación.

### 2. HACER

El “hacer” engloba la documentación, el análisis de datos, y la planificación inicial para llevar a cabo el ejercicio.

La empresa debe garantizar el suministro de los recursos (tiempo, dinero, facilidades en el acceso a la información) necesarios para operar sobre el sistema de gestión establecido, una vez son identificadas las medidas de mejora y se establecen los objetivos.

El periodo de recuperación de la inversión o payback es otro factor que se deberá medir en el estudio. Es importante la implicación de los empleados a la hora de ejecutar este tipo de sistemas de gestión ya que es demostrable que mejora el potencial resultado. Para que una empresa sea energéticamente eficiente, es esencial el tener una política de gestión energética que demuestre un enfoque estratégico, con compromiso en cada nivel de la organización (desde la directiva al último empleado). Para conseguir esta implicación es interesante:

- Organizar conferencias o programas de compromiso con la eficiencia energética en la empresa.
- Aplicar incentivos e informar a la plantilla del cumplimiento de objetivos puede ser otra manera de mantener implicada a la plantilla.
- La selección de varios “líderes energéticos” dentro de la plantilla que ayuden desde dentro a motivar a sus compañeros a la hora de cumplir los objetivos

### 3. VERIFICAR

Por otra parte, se deben cumplir todos los requisitos legales energéticos que implique el ejercicio. Este punto comprenderá auditorías (internas) y requisitos de planificación y estructuración en la fase de planificación. Esta fase es la de “chequeos”.

### 4. ACTUACIÓN

Por último, en la fase de “actuación” aplicaremos las medidas estudiadas y haremos una revisión de los objetivos establecidos.

## 1.3. **NORMATIVA**

En un sistema de gestión de la energía no sólo se evalúan metas de eficiencia energética sino también reducción de costos, uso de energía sostenible y protección del medioambiente. Las normas vinculantes para los sistemas de gestión de energía certificados es el estándar internacional ISO 50001, Requisitos generales según las normas:

- La organización debe conducir y documentar un proceso de planificación energética. La planificación energética debe ser consistente con la política energética y conducirá a actividades que mejoren el rendimiento energético. La planificación energética implicará una revisión de las actividades de la organización que puede afectar al rendimiento energético.
- La organización debe establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión energética que permita adoptar un enfoque sistemático para lograr la mejora continua del rendimiento del proceso, incluyendo eficiencia energética, uso y el consumo de energía.
- La política energética debe establecer el compromiso de la organización para mejorar el rendimiento energético. Debe ser adecuada a la naturaleza y escala de la organización consumidora de energía; incluye un compromiso con la mejora continua en el rendimiento energético futuro; incluye un compromiso para garantizar la disponibilidad de información y de los recursos necesarios para alcanzar los objetivos; incluye un compromiso de cumplir con los requisitos legales aplicables y otros requisitos que la organización debe aceptar en relación con el uso, consumo y eficiencia energética; proporciona el marco para establecer y revisar objetivos y metas energéticas; apoya la compra de productos energéticamente eficientes y servicios y diseño para la mejora del rendimiento energético; está documentado y comunicado a todos los niveles dentro de la empresa; es regularmente revisado y actualizado siempre que sea necesario.

## 1.4. REVISIÓN DE LA ENERGÍA

La metodología y los criterios utilizados para desarrollar la revisión energética deberán estar documentados. Para desarrollar la revisión energética, la organización debe:

- **Analizar el uso y consumo de energía en base a la medición**, es decir identificar las fuentes de energía actuales.
- **Evaluar el uso y consumo de energía en el presente**, identificar las áreas de uso significativo de energía, es decir, identificar las instalaciones, equipos, sistemas, procesos y personal que trabaja para, o en nombre de, la organización y que se llevan gran parte del consumo.
- **Identificar otras variables relevantes que afectan ciertos usos energéticos**; determinar el consumo actual, el rendimiento de las instalaciones, equipos, sistemas y procesos relacionados; estimar el uso y el consumo de energía en el futuro; identificar, priorizar y registrar oportunidades para mejorar la energía actuación.

La revisión energética se actualizará a intervalos definidos o como respuesta a cambios importantes en instalaciones, equipos, sistemas o procesos.

- La organización debe establecer un punto de partida usando la información en la revisión energética considerando un período de datos adecuado para el uso y el consumo total de la organización. A partir de ahí los cambios energéticos se miden en la diferencia con este punto base. Es interesante la revisión de las facturas recibidas durante los últimos años para construir una imagen de consumo y rendimiento mensual. Además, muchas empresas tienen en sus procesos incluidos medidores de registro (cada 30 minutos), con lo que sirven de punto de referencia para realizar verificaciones.
- Se deben establecer indicadores de rendimiento energético (EPI o KPI) apropiados para la monitorización y medición del rendimiento energético. La metodología para determinar y actualizar los KPI debe registrarse y revisarse regularmente. Establecer un plan de medición, apropiado para el tamaño y la complejidad de la organización y su monitorización y equipo de medición equipo debe definirse previamente. (La medición puede variar desde solo metros de servicio a sistemas de medición conectados a una aplicación de software capaz de consolidar datos devolución automático de análisis).

De cara a la esquematización del proceso energético podemos apoyarnos en flujos de energía como por ejemplo los diagramas de Sankey.

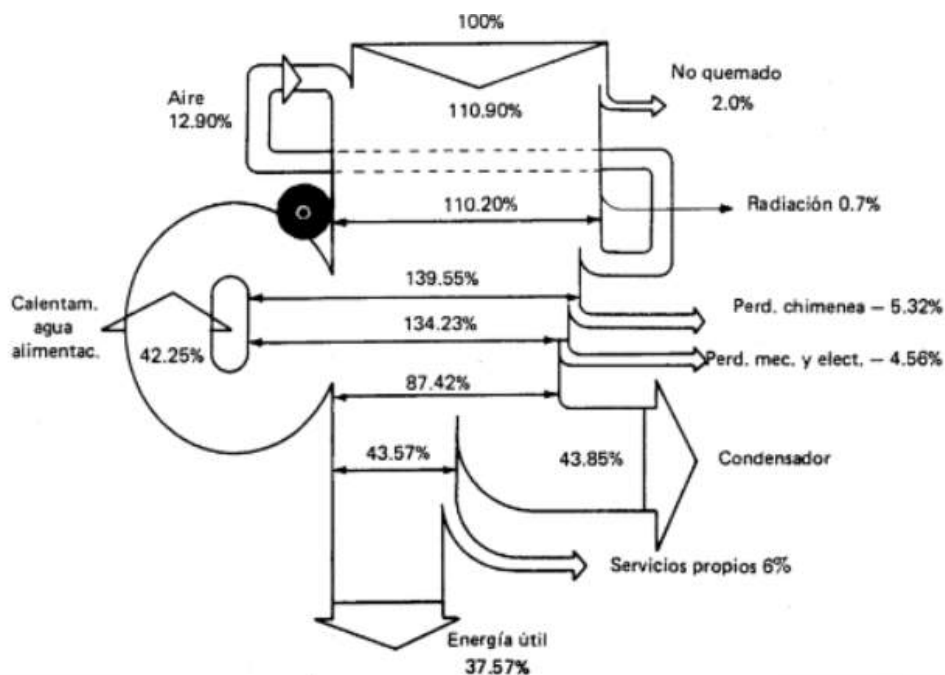


Figura 12: Diagrama de Sankey para un ciclo de vapor



## 1.5. GESTIÓN DE DATOS ENERGÉTICOS Y EVALUACIÓN DE DATOS ENERGÉTICOS PREVIA AL PROYECTO ENERGÉTICO

### 1.5.1. RESUMEN

En general no es factible descubrir dónde están los principales contribuyentes al consumo energético sin mediciones ni análisis previo, es decir, a pesar de las posibles soluciones hardware y software disponibles en el mercado<sup>13</sup>, se requieren de mediciones (en un número suficiente) de puntos de consumo de vapor, electricidad, agua, gas, aire comprimido, etc... Así seremos capaces de identificar posibles desperdicios de energía y el ahorro potencial conseguible.

### 1.5.2. INICIO

Los datos deben transmitirse desde las interfaces a un servidor central. Aquí los datos se editan y están disponibles para su análisis. La evaluación de datos se ejecuta mediante una aplicación de software instalada en la web o instalada localmente. Se deben analizar el consumo detallado de energía, monitorizar los indicadores clave de rendimiento comentados anteriormente (KPI) y se comparan en diferentes intervalos de tiempo. La monitorización del uso de energía ayuda a identificar los periodos pico y además ayuda a chequear si las medidas de ahorro que se imponen están teniendo impacto. Además de la medición de los datos de consumo, a menudo es posible medir y controlar las propiedades físicas como las temperaturas. Los umbrales definidos sirven como un mecanismo de respuesta rápida respecto a las desviaciones. Por último, necesitamos estandarizar documentación con los datos medidos para cumplir con los requisitos mencionados anteriormente

### 1.5.3. RECOMENDACIONES EN LA MEDICIÓN DE PUNTOS

- Instalar 150-300 puntos de medición que se puedan evaluar.
- Realizar resúmenes de la energía consumida por día en plantas de producción y edificios.
- Identificar tendencias, anomalías y sus razones.
- Monitorizar con la máxima frecuencia posible (hora a hora, por ejemplo).

---

**Ejemplo 1–3.** *Un KPI bastante útil dentro de la industria química suele ser toneladas producto/ MWh de energía primaria consumida. Es útil trazar en gráficas el rendimiento de producción vs consumo de cada unidad productiva durante periodo de tiempo (semana-mes). Este análisis mostrará:*

- *Si existe una correlación entre el consumo de la unidad y la producción.*
- *¿Cuánto del consumo de la unidad seleccionada se fija como "carga base" y cuánto es variable con la producción?*

*En caso de que no exista correlación alguna da a entender que el factor determinante es otro. Por ejemplo, el número de horas de operación durante las jornadas puede ser el KPI determinante a monitorizar si no funciona el anterior*

---

<sup>13</sup> Excel, Process Data Archive y OSI-PI

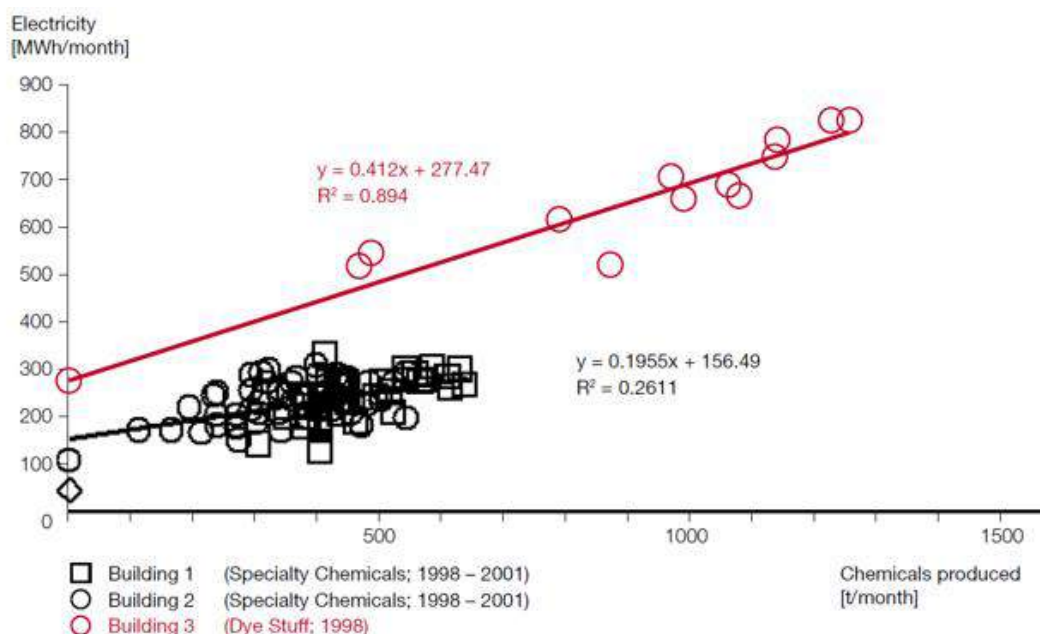


Figura 13: Electricity per chemicals produced in quchemical plant

En plantas de producción de productos químicos especializados, el 40-50% (alto) del consumo de energía se utiliza en la “*carga base*” \* para la generación de servicios secundarios: aire comprimido y refrigeración, tratamiento de aguas residuales, bombeo de agua, ventilación, aspiración y calefacción. Por lo tanto, se trata de centrarse en estos consumidores de energía de forma prioritaria.

En el caso contrario si la “*carga base*”<sup>14</sup> es baja la producción puede tener mayor potencial de ahorro de energía. Se pueden hacer mejoras tipo: reducción de tiempos de agitación y calentamiento innecesarios de los buques, secuenciación correcta de calefacción y refrigeración.

En tiempos de baja capacidad, interesa operar la planta al 100% de rendimiento durante un período más corto de operación.

---

**Ejemplo 1–4.** Los datos de uso de energía son útiles cuando se comparan con niveles de producción. Para ellos trazamos un gráfico comparativo como se muestra en el ejemplo de la figura 4 donde cruzamos consumo de energía con producción en la salida:

- Podemos comprobar en este caso que incluso cuando no hay producción, se incurre en costos ya que se consume energía, con lo que una solución posible sería el apagado de la maquinaria (si es posible) aparte de la iluminación y calefacción adyacentes.

- La pendiente nos muestra la energía usada respecto a la producción utilizada, por tanto, buscamos reducir la pendiente para optimizar el proceso. Es decir, una vez midamos post implantación de las medidas de ahorro debemos chequear que se cumple con esta reducción de gradiente. En caso de que no exista correlación alguna da a entender que el factor determinante es otro. Por ejemplo, el número de horas de operación durante las jornadas puede ser el KPI determinante a monitorizar si no funciona el anterior

Finalmente compararemos los datos de energía y rendimiento con frecuencia (mensual, anual) lo que nos mostrará dónde y cuándo las medidas han tenido impacto.

---

<sup>14</sup> *Carga base* no es el uso de energía cuando la planta está totalmente cerrada, más bien, es la energía requerida para llevar la planta a un estado donde la producción puede comenzar.

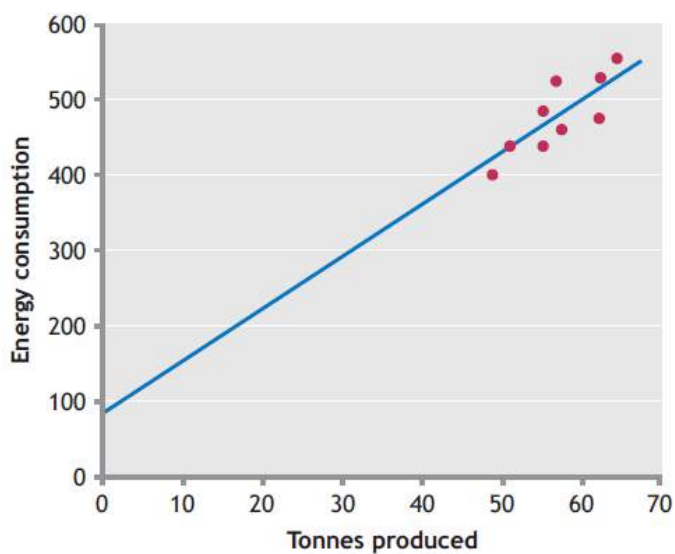


Figura 14: Energía consumida por cantidad de producción en una planta química

#### 1.5.4. RECOGIDA DE VARIABLE EN UN SISTEMA DE VAPOR

##### PRODUCCIÓN

Notación	Descripción	Unidades
tf	Nº de horas de funcionamiento anuales	h
mP	Cantidad de producto generado en la industria	kg/año

Tabla 5: Variables típicas en un proceso en la etapa de producción

##### GENERACIÓN

Notación	Descripción	Unidades
tf	Nº de horas de funcionamiento anuales	h
mP	Cantidad de producto generado en la industria	kg/año
CCBS	Coste del combustible	€/kg
mVS	Cantidad de vapor generado en la caldera	tm/año
Pv	Presión manométrica del vapor	bar
TAC	Temperatura del agua de alimentación de la caldera	°C

Tabla 6: Variables típicas en un proceso en la etapa de generación

## RED DE DISTRIBUCIÓN

Notación	Descripción	Unidades
LVn15	Longitud de las tuberías de vapor	m
XLVn	Porcentaje de tuberías de vapor no aisladas	%
SA	Área de los accesorios no aislados	m <sup>2</sup>
dFV	Diámetro del orificio de las fugas de vapor	mm

Tabla 7: Variables típicas en un proceso en la etapa de distribución

## 1.6. PROBLEMAS COMUNES EN EL CONTROL Y MONITORIZACIÓN

## SOBREPROCESAMIENTO

**Causa:** Existen ocasiones que las plantas son controladas manualmente ya que resulta más cómodo para los operadores, con esto consiguen cumplir con las especificaciones del producto, pero se puede incurrir en la sobrepurificación o sobre-especificación del producto. Los errores de control son una de las principales causas de consumo extra en una planta industrial, pueden incluso conllevar más gastos en el proceso de fabricación.

**Solución:** La automatización de tareas simples produce ahorros de energía significativos ya que optimizar la respuesta de control de un sistema, un operador nunca podrá tener una respuesta por segundo a la hora de decidir que parámetros necesitan ser ajustados. Para solucionar este problema, un ingeniero de control debería ser capaz de sintonizar y mejorar los sistemas de control existentes para reducir los consumos de energía.

## CAMBIO DE AUTOMÁTICO A MANUAL

**Causa:** Normalmente existe un motivo de peso por el que el cual un operador cambia los controles a manual. Merece la pena la investigación de este hecho, ya que podría ser que los controladores den resultados deficientes o no fueran ajustables.

**Solución:** Un ingeniero de control podría ser capaz de arreglar estos problemas y restaurar el control automático en su funcionamiento original.

## CHECK DE MEDICIONES

**Causa:** Si el sistema de control no funciona correctamente, las mediciones que se tienen de referencia son incorrectas esto deriva en un desperdicio de energía y por tanto coste de dinero que podría ahorrarse. La mala medición puede causarse por: mala elección del dispositivo, señales pobres para la medición, por ejemplo. Estos puntos dan a entender que es necesario el buen mantenimiento y calibración de los sensores de control.

**Solución:** Un ingeniero de control puede investigar y verificar si se cometen este tipo de errores.

*El ahorro total conseguible con mejores procesos de control es del 5-15%.*

---

<sup>15</sup> n puntos de medida

## 1.7. METODOLOGÍA PARA ESTUDIAR UNA INVERSIÓN EN UN PROYECTO DE AHORRO ENERGÉTICO

Durante la fase de planificación se realiza el estudio económico del proyecto, no sólo se evalúa la inversión inicial también deben considerarse los costes de construcción, costes de mantenimiento de los equipos, costes de operación, incluso costes de eliminación de equipo.

Se propone un método<sup>16</sup> de comparación y evaluación de opciones de inversión basados en el coste total de la inversión.

Initial Costs	Operating Expenditures	Decommissioning Costs
engineering costs	operating costs	dismanting
procurement costs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• raw material</li> <li>• energy</li> <li>• environmental</li> <li>• insurance</li> <li>• staff</li> </ul>	disposial
quality assurance costs	<ul style="list-style-type: none"> <li>• startup and shutdown costs for scheduled maintenance</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• travel expenses</li> </ul>		
equipment costs	maintenance	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• system cost incl. piping,</li> <li>• civil, ...</li> <li>• spare parts</li> <li>• packaging, transport</li> <li>extended warranty</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• service</li> <li>• inspections</li> <li>• cleaning</li> <li>• repairs (spare an wear parts, warehouse and logisitic costs)</li> </ul>	
construction		
commissioning cost		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• training</li> <li>• test &amp; warranty run</li> <li>• start up costs</li> </ul>		

Tabla 8: Tipos de costes en un proyecto de ahorro energético industrial

Este método es bueno para evaluar la posible inversión en nuevas tecnologías y en la sustitución de antiguo equipo por tecnologías más eficientes.

Si vamos a adquirir unidades nuevas consideraremos los costes totales de las diferentes alternativas que podamos adquirir. Si vamos a reemplazar una unidad por otra más eficiente, se evalúa la mejora total resultante.

Cálculo de TCO y período de recuperación de la inversión:

En una evaluación de TCO, los gastos totales se resumen a lo largo de la vida. Para evaluaciones de inversión de proyectos superando un volumen de 2 millones de euros, *BASF\** considera un período de 10 + 5 años.

Los gastos futuros tienen un valor menor que los gastos reales. Por lo tanto, para calcular el TCO, todos los gastos anuales (capital + gastos) se descuentan y acumulan y resultan en el llamado valor presente.

Se propone aplicar una tasa de descuento de 8 + 2% para medidas energéticas de suministro y distribución, así como inversiones de capital comercial. Al aplicar la tasa de descuento mencionada, las inversiones rentables requieren un período de aproximadamente 6 años o menos para volver a ganar el coste de capital.

<sup>16</sup>

El período de amortización es inferior a 6 años, suponiendo un flujo de efectivo constante. Para calcular el flujo de caja anual, todo fijo y el coste variable, así como las ganancias / ventajas causadas por la inversión se incluirán después de la consideración de impuestos.

#### Life Cycle Costs

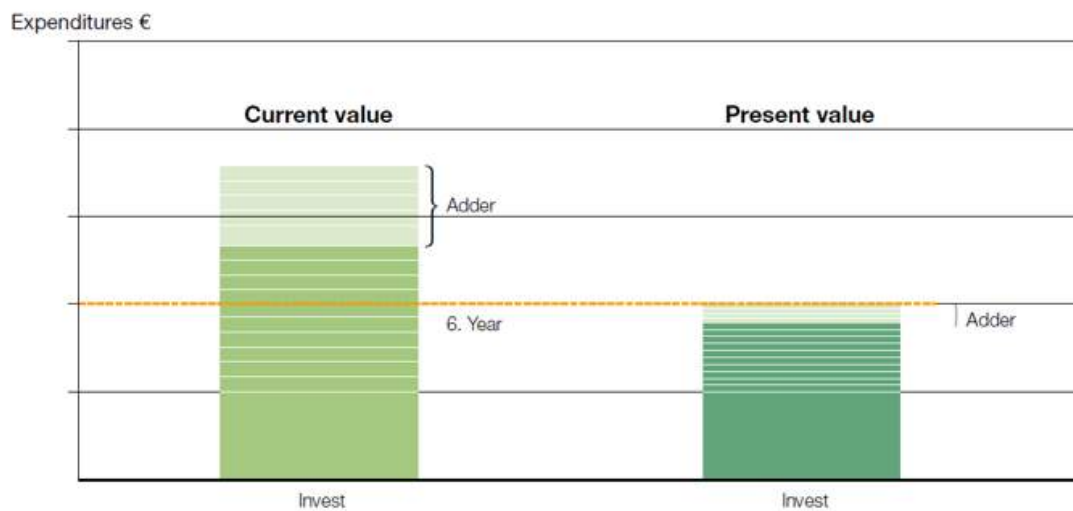


Figura 15: Ejemplo de coste de vida un proyecto industrial

Como regla general para inversiones más pequeñas, la inversión de capital debe pagarse dentro de los 6 años como puede verse en la parte derecha de la gráfica.

El TCO puede determinarse mediante la siguiente ecuación:

$$TCO = \text{coste de inversión} + 6 \times \text{coste anual}$$

## 2. OPORTUNIDADES DE AHORRO

### 2.1. INTRODUCCIÓN

Para que la guía de las medidas de ahorro sea más accesible para el lector, construiremos una tabla resumen al final de cada área potencial de ahorro, detallando medida de ahorro e inversión (bajo, medio, alto) a asumir previsiblemente. Además, vamos a realizar una distinción sobre las medidas separando estas en generales u “horizontales”, comunes a la mayoría de sectores industriales, y “verticales”, medidas más específicas dentro de áreas del sector químico como puede ser: destilación, evaporación y secado.

MEDIDAS HORIZONTALES	MEDIDAS VERTICALES	OTRAS MEDIDAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generación y distribución de vapor</li> <li>- Motores eléctricos</li> <li>- Aire comprimido y vacío</li> <li>- Enfriamiento y refrigeración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evaporación</li> <li>- Destilación</li> <li>- Secado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calefacción</li> <li>- Ventilación</li> <li>- Aire acondicionado</li> <li>- Tejido de construcción</li> <li>- Iluminación</li> </ul>

Tabla 9: Tipos de medidas de ahorro a estudiar por categoría

Hemos intentado en la selección de medidas elegir aquellas que son más efectivas y contrastadas dentro de la industria química, esto no quiere decir que no existan otras que podrían ser perfectamente aplicables a proyectos de carácter más específico ya que gran parte de las aplicaciones dependen de las necesidades de cada planta y las posibilidades para aplicarlas en cada situación. En la siguiente tabla se exponen las diferentes tecnologías donde es posible realizar una actuación, el consumo de energía que solicita dicha tecnología y una estimación del ahorro que se podría obtener.

Tecnologías	Energía usada	Ahorro potencial
Calderas de vapor	26-50%	3-15%
Aire comprimido	2-10%	8-25%
Motores	2-10%	8-20%
Edificios industriales	11-25%	8-25%
Agua de refrigeración	2-10%	2-10%
Bombas	1-3%	8-20%
Refrigeración	11-25%	2-10%
Procesos químicos	2-10%	3-15%
Control de procesos	2-10%	2-10%

Tabla 10: Ahorro potencial por tecnología en industria química

Previamente a la presentación de dichas medidas comentaremos una serie de medidas que se pueden aplicar de forma teórica y que pueden incluso realizarse antes de la fase de monitorización de la planta de estudio.

## 2.2. MEDIDAS PREVIAS

ESTUDIOS	OBJETIVO	MEDIDAS
Eficiencia de la planta vs plantas similares/competencia	Punto de partida para analizar el rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verifique la literatura disponible para los datos de referencia.</li> <li>- Analice las diferencias entre el rendimiento de su planta y el de la planta en otros sitios de la compañía e identifique áreas potenciales de ahorro de costos.</li> </ul>
Control de los parámetros de diseño de la planta	Analizar si se ha reducido el rendimiento de las máquinas con el tiempo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consulte la literatura publicada sobre la planta permite analizar los parámetros operacionales y así evaluar el rendimiento vs el uso teórico de energía indicado</li> </ul>
Evaluación de potencial de recuperación de calor en los procesos	Considerar el uso de calor en otro lugar	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar el calor exotérmico de una reacción en otro proceso.</li> <li>- Realice un estudio y mida posibles fuentes de calor y disipadores de calor.</li> </ul>

Tabla 11: Medidas previas en un proyecto de eficiencia energética



## 2.3. MEDIDAS HORIZONTALES

### 2.3.1. GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR

El vapor de agua es uno de los medios de transmisión de calor de mayor efectividad, su fácil generación y manejo lo han situado como uno de los servicios auxiliares más difundidos en la industria. En los energéticos, se han encontrado grandes potenciales de ahorro en la generación y distribución de vapor, que van desde el 5-20% del consumo del combustible.

Las pérdidas globales en una instalación de vapor son del 25% en la generación, el 45% en la red de distribución y el 30% restante son debidas a la no utilización de los condensados.



Figura 16: Porcentaje de consumo energético en para una planta de vapor

Pequeñas modificaciones locales en el sistema de vapor ocurren con frecuencia en respuesta a cambios en los procesos para reemplazar elementos de plantas obsoletas o fallidas. Pueden pasar muchos años entre revisiones de desarrollos de producción de vapor que pueden haber alterado significativamente los perfiles de demanda de vapor. En consecuencia, es necesario mantener la generación y distribución de vapor bajo revisión periódica considerando:

- ¿Cuántos niveles de vapor se necesitan realmente?
- ¿Qué presión deberían tener?
- ¿Hay calor y electricidad combinados (CHP o cogeneración)?

La respuesta debería conducir a una reducción en el coste de generación y distribución, y podría ahorrar capital a medio y largo plazo. Los gastos en la distribución del vapor le ayudarán a evaluar el coste del vapor en su punto de uso, es decir, después de que se hayan tenido en cuenta las pérdidas de distribución. Este análisis le permitirá evaluar dónde se pueden obtener ganancias mediante la racionalización de su sistema de distribución de vapor. Las posibles áreas de ahorro se encuentran en:

1. CALDERAS
2. RECUPERACIÓN DE CALORES RESIDUALES
3. AISLAMIENTO
4. PÉRDIDAS EN DISTRIBUCIÓN
5. COGENERACIÓN
6. OTROS

## TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel de inversión	% Ahorro	Payback
Ajuste de la combustión	- Ajustar la combustión de forma manual.	1	3,50%	Medio
	- Sustituir los quemadores.	3		
	- Instalar microprocesadores de combustión.	3		
	- Reducir el porcentaje de exceso de aire	2		
	- Sustitución por quemadores de bajo exceso de aire	3		
	- Sustitución de generador de vapor	3		
	- Complementación de combustible	2		
	- Control de la recepción, manejo, almacenamiento y seguridad	3		
Economizadores en calderas	- Aprovechar el calor contenido en los humos de combustión que salen de la caldera para precalentar el agua de aportación de la misma.	3	1,20%	Alto
Recuperadores	- Aprovechamiento del calor residual de los humos de combustión de la caldera para calentamiento del aire empleado en la combustión.	3	2,50%	Alto
Minimización de purgas	- Automatización de purgas.	2	2,50%	Alto
	- Sustitución de purgadores.	2		
	- Reparación y eliminación de fugas.	1		
	- Recuperación de purgas.	2		
	- Evaluar la calidad del agua de repuesto	1		
	- Analizar los sistemas de tratamiento de agua, para poder reducir la purga continua	2		
Calorifugado de tuberías y tanques	- Cálculo de pérdidas en elementos desnudos y calorifugados.	2	5%	Bajo/Medio
	- Realizar aislamiento térmico de tuberías y válvulas.	2		
	- Cambio de aislamiento térmico en tanques o depósitos.	2		
Eliminación de fugas de vapor	- Localizar y eliminar las fugas de vapor existentes	2	3%	Bajo
	- Eliminación de grietas en mamparas, paredes y válvulas	2		
Mantenimiento de purgadores	- Instalar válvulas automáticas en conducciones de vapor para eliminar los condensados y el aire.	2	1%	Medio
Expansión del condesado de alta presión	- Emplearemos el condensado de alta presión para producir más vapor a una presión inferior mediante expansión en un tanque	3	2%	Alto

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-5 años, >5 años

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO (continuación)	Nivel de inversión	% Ahorro	Payback
Recuperación de condensados	- Recuperación en taque flash atmosférico	2	4%	Alto
	- Recuperación de condensados a presión en instalaciones tipo circuito cerrado	2		
	- Instalación de una unidad de recuperación de condensados (U.R.C)	3		
	- Recuperación de condensados a presión en instalaciones tipo circuito semi-cerrado	2		
CHP	- Sustitución del sistema de vapor por uno de cogeneración, sobre todo para instalaciones que precisen vapor a diferentes niveles térmicos	3	10-30%	Alto

Tabla 12: Medidas de ahorro en los sistemas de vapor

## 1. CALDERAS

En la mayoría de las compañías químicas se usa una gran proporción de energía por hornos y calderas. Su uso eficiente depende de un buen control y mantenimiento regular. En algunos casos, el rendimiento de hornos y calderas se puede mejorar aún más mediante el uso de equipos 'complementarios'. Las ineficiencias en la distribución de vapor son otra fuente de desperdicio de energía en estos sitios, de nuevo recalcar que un buen mantenimiento es el clave para una operación eficiente.

Problemas frecuentes en el mantenimiento de calderas:

- Problemas de corrosión
- Problemas de incrustación
- Problemas de ensuciamiento

La caldera es un equipo donde se transfiere la energía obtenida en la combustión de un combustible a un fluido de trabajo.

Las calderas pueden clasificarse atendiendo a varios criterios:

➤ Según las necesidades energéticas del proceso:

- Calderas de agua caliente

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

- Calderas de agua sobrecalentada
  - Calderas de vapor saturado
  
  - Calderas de vapor sobrecalentado
  - Calderas de fluido térmico
- Según la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión:
- Calderas pirotubulares: los humos calientes circulan por el interior de los tubos sumergidos en el fluido.
  - Calderas acuotubulares: el fluido circula por el interior de los tubos sumergidos en una masa de humos.

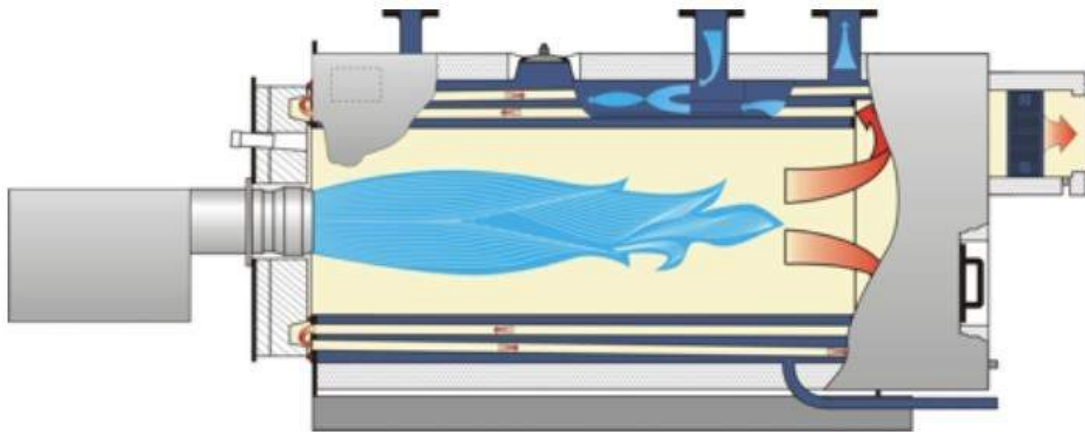


Figura 17: Caldera de agua sobrecalentada Unimat UT-M Bosch

Para el cálculo del balance de energía de una caldera es necesario conocer:

- Temperatura de referencia (normalmente es la temperatura ambiente)
- Balance de masa
- PCI del combustible

El calor de entrada será:

- Calor de combustión.

El calor de salida será:

- Pérdidas de calor en los humos
- Pérdidas de calor por inquemados
- Pérdidas de calor por purgas
- Pérdidas de calor por radiación
- Calor de vapor

El rendimiento de una se puede evaluar de forma directa (con mediciones) o de forma indirecta (a partir del balance de energía) como vemos en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_{UTIL}}{Q_{APORTADO}}$$

Siendo

$$Q_{UTIL} = Q_{APORTADO} - Q_{PERDIDAS}$$

El rendimiento de la combustión en cada caldera tiene un punto óptimo de exceso de aire, este exceso de aire será función además del tipo de quemador, de las condiciones ambientales y de la temperatura de alimentación del combustible.

Combustible	Exceso de aire (%)		O2 en gases (%)	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Gas Natural	10	15	2	2,7
Fuel oil ligero	12,5	20	2,3	3,5
Fuel oil pesado	20	25	3,3	4,2
Carbón	30	50	4,9	7

Tabla 13: Rango de exceso de aire óptimo en un proceso de combustión

Además del ajuste del punto óptimo del exceso de aire las principales medidas de ahorro en calderas son las siguientes:

#### *Instalar economizadores*

Un economizador es un intercambiador de calor tubular, que se instala a la salida de los gases de combustión de la caldera, por los que circula agua de alimentación que absorbe parte del calor de estos gases. La energía recuperada supone un calentamiento del agua de alimentación y por tanto, una reducción del consumo de combustible necesario para ello, generando, por consiguiente, un ahorro energético y económico. Además, obtendremos menos impacto de emisiones NOx.

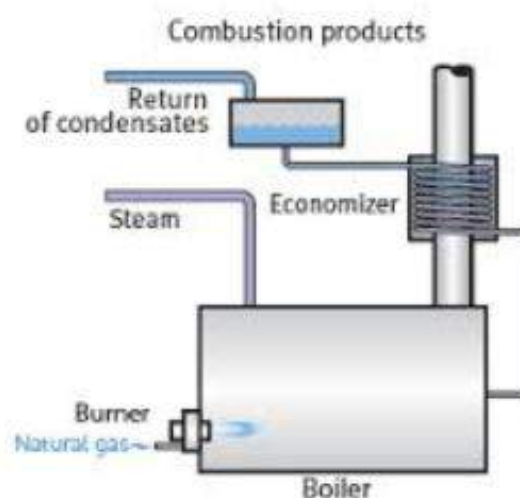


Figura 18: Esquema de caldera con economizador instalado

### Instalar recuperadores

Se trata de calentar el aire de combustión antes de su entrada en el equipo de generación con los gases de combustión, con lo que conseguimos disminuir el consumo de combustible. El rendimiento del equipo se verá notablemente mejorado con el recuperador. Una disminución de 20 °C en la temperatura de salida de gases supone en calderas un aumento del 1% del rendimiento. A pesar de la posibilidad de instalar recuperadores como medida de recuperación de calor se debe priorizar la transmisión de dicho calor para precalentar otro tipo de fluido y no entre dos gases siempre que sea posible debido a su bajo coeficiente global de transmisión de calor.

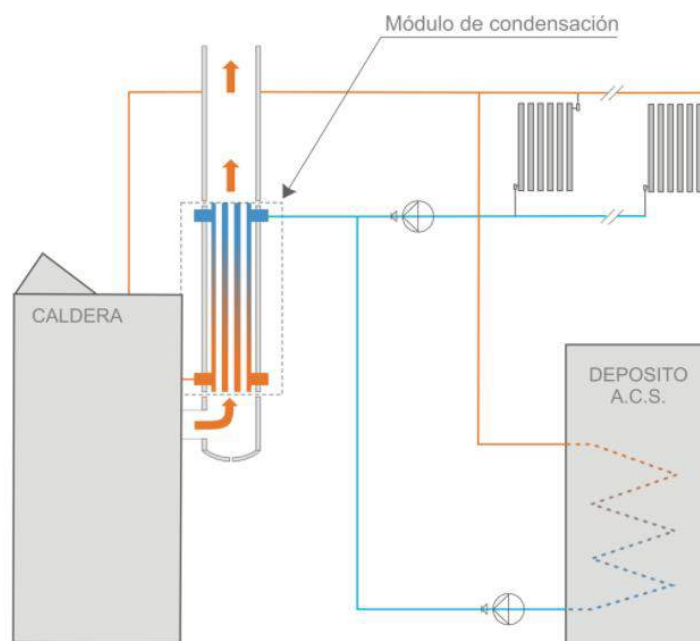


Figura 19: Esquema de caldera con recuperador de calor ECO TITANUM plus

### Minimizar las purgas en las calderas

Son necesarios para evitar que los sólidos precipiten y formen depósitos que puedan dificultar la transferencia de calor a través de las superficies, disminuyendo con ello la eficiencia en la generación como hemos visto antes.

Cuando el agua se evapora en una caldera, la concentración de los sólidos disueltos y suspendidos aumenta en el resto agua. Para mantener estos sólidos por debajo de los niveles a los que causaría problemas, el agua tiene que ser eliminada de la caldera periódicamente en una operación llamada 'purga'. El agua evacuada en las purgas de las calderas de vapor está a una elevada temperatura y presión, dicho calor se recupera expandiéndola en un tanque y utilizando el líquido y vapor producidos.

Por lo general, entre el 1% y el 15% de la entrada de energía a la caldera se pierde en las operaciones de purga. Se puede estudiar el cambio a un sistema de purgas automáticas para optimizar el proceso. Los mayores ahorros de energía ocurren en calderas de presión elevada. La siguiente tabla muestra la recuperación de calor potencial de la purga de la caldera.

Calor recuperado (kW)					
Purga (%)	Presión de operación (bar)				
	3,5	7	10	17	21
2	132	146	161	190	190
4	264	293	322	380	380
6	380	439	498	556	586
8	498	586	644	761	790
10	644	732	820	937	966
20	1288	1464	1640	1874	1832

Tabla 14: Calor recuperado de purgas de vapor

#### *Minimizar pérdidas por paredes mejorando el aislamiento*

Se puede llegar a perder en torno a un 30-40% del poder calórico aportado por el combustible por pérdidas térmicas. Aislar un horno con el refractario adecuado puede mejorar la eficiencia térmica de los procesos de calentamiento hasta en un 50% dependiendo del tipo de horno y las temperaturas. Algunas medidas para disminuir estas pérdidas consisten en instalar aislamientos en las paredes o aumentar su espesor además puede reparar o reemplazar cualquier aislamiento dañado o faltante.



Figura 20: Aislamiento de calderas, Zitró aislamientos termoacústicos

#### *Use el tipo correcto de quemador*

La elección correcta de quemador es importante, ya que hay muchos tipos que podrían usarse para una operación en particular, pero algunos son más eficientes energéticamente que otros. Debe buscar asesoramiento al seleccionar los quemadores para garantizar son energéticamente eficientes y el más apropiado para el propósito.

*Invierte en una nueva caldera*

Si la caldera ha estado en uso durante varios años, puede ser vale la pena cambiar a una caldera nueva, más eficiente, posiblemente de un diseño diferente. Un fabricante de calderas o un consultor podrá asesorar sobre la viabilidad del reemplazo de la caldera.

Otra opción que se puede estudiar es la sustitución de una caldera eléctrica por una caldera de gas natural

## 2. RECUPERACIÓN DE CALORES RESIDUALES

*Recuperación de condensados*

El calor del condensado se recupera en un intercambiador o en un tanque flash, donde se obtiene vapor que puede ser empleado en el proceso productivo (indirecta) o en el precalentamiento del agua de aporte a la caldera (directa). El calor del condensado del tanque flash se puede recuperar en un intercambiador de placas. Al introducir el agua en la caldera a una temperatura superior a la del agua de red se obtiene un incremento del rendimiento de la caldera, o lo que es lo mismo, un descenso del consumo del combustible. Puede suponer un ahorro del combustible del 8%.

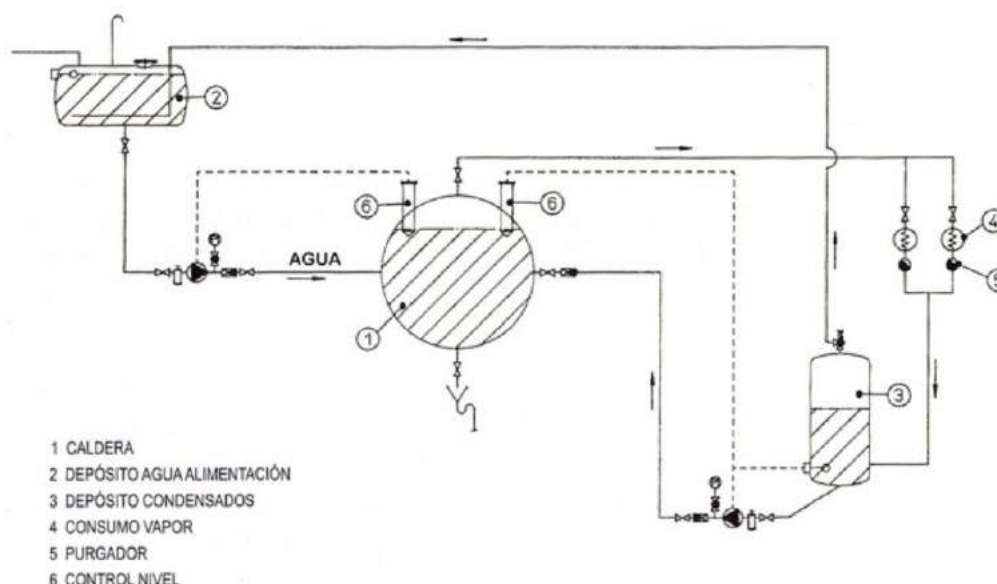


Figura 21: Esquema de alimentación directa de condensados a caldera

*Expansión del condensado a alta presión*

Esta medida permite emplear el condensado de una utilización de vapor a alta presión para producir más vapor a una presión inferior que podrá ser utilizado en otro punto del proceso productivo. Se trata de expansionar el condensado a alta presión en un tanque para generar vapor y nuevos condensados a una presión inferior. Estos nuevos condensados pueden ser expansionados nuevamente en otro tanque y así sucesivamente. En los sucesivos habrá que llegar al punto donde el ahorro producido por la expansión sigue siendo mayor que el coste de instalación de nuevos tanques.

*Recuperación de calor en circuitos de refrigeración*

Mediante máquinas frigoríficas, la recuperación de calor se puede realizar a bajas temperaturas (30 – 60°C) o aprovechando el calor que disipan las torres de refrigeración y/o sustituyéndolas por circuito cerrado.



*Recuperación de calor residual en los productos de secadero*

Utilización de secaderos regenerativos que permiten recuperar el calor del producto al mismo tiempo que lo seca.

*Recuperación del calor residual del producto*

Es posible recuperar parte de la cantidad de calor que tienen los productos a la salida del horno.

### 3. AISLAMIENTO

Desde el punto de vista energético, los aislamientos permiten reducir las pérdidas de calor que se producen a través de las paredes de las tuberías, calderas, etc. Una red de vapor sin aislamiento condensa entre 4 y 5 kg de vapor por m<sup>2</sup> y hora. Con un aislamiento apropiado estas pérdidas se reducen a 0,5 – kg/m<sup>2</sup>/h.

*Aislamiento de líneas de condensado y de vapor*

Si las líneas de retorno de los condensados y de distribución de vapor no se aíslan convenientemente, darán lugar a una importantísima pérdida de energía. Cualquier superficie por encima de los 50°C debe ser calorifugada, incluyendo las superficies de la caldera, las tuberías, los depósitos y los accesorios. De este modo, pueden reducirse las pérdidas de calor hasta en un 90%



Figura 22: Aislamiento de tuberías de una red de vapor

## 4. PÉRDIDAS EN DISTRIBUCIÓN

Las pérdidas de vapor se localizan fundamentalmente en las tuberías y en los purgadores. Un programa de mantenimiento de las instalaciones que tenga por objetivo la búsqueda y reparación de las fugas, es esencial para una operación eficiente de los sistemas de vapor.

### Calorifugado de accesorios

El ahorro producido por el calorifugado de las tuberías y tanques se realiza calculando la diferencia de pérdidas de calor entre los elementos desnudos y calorifugados.

Para calcular el calor perdido en accesorios se puede emplear el ábaco de Wrede.

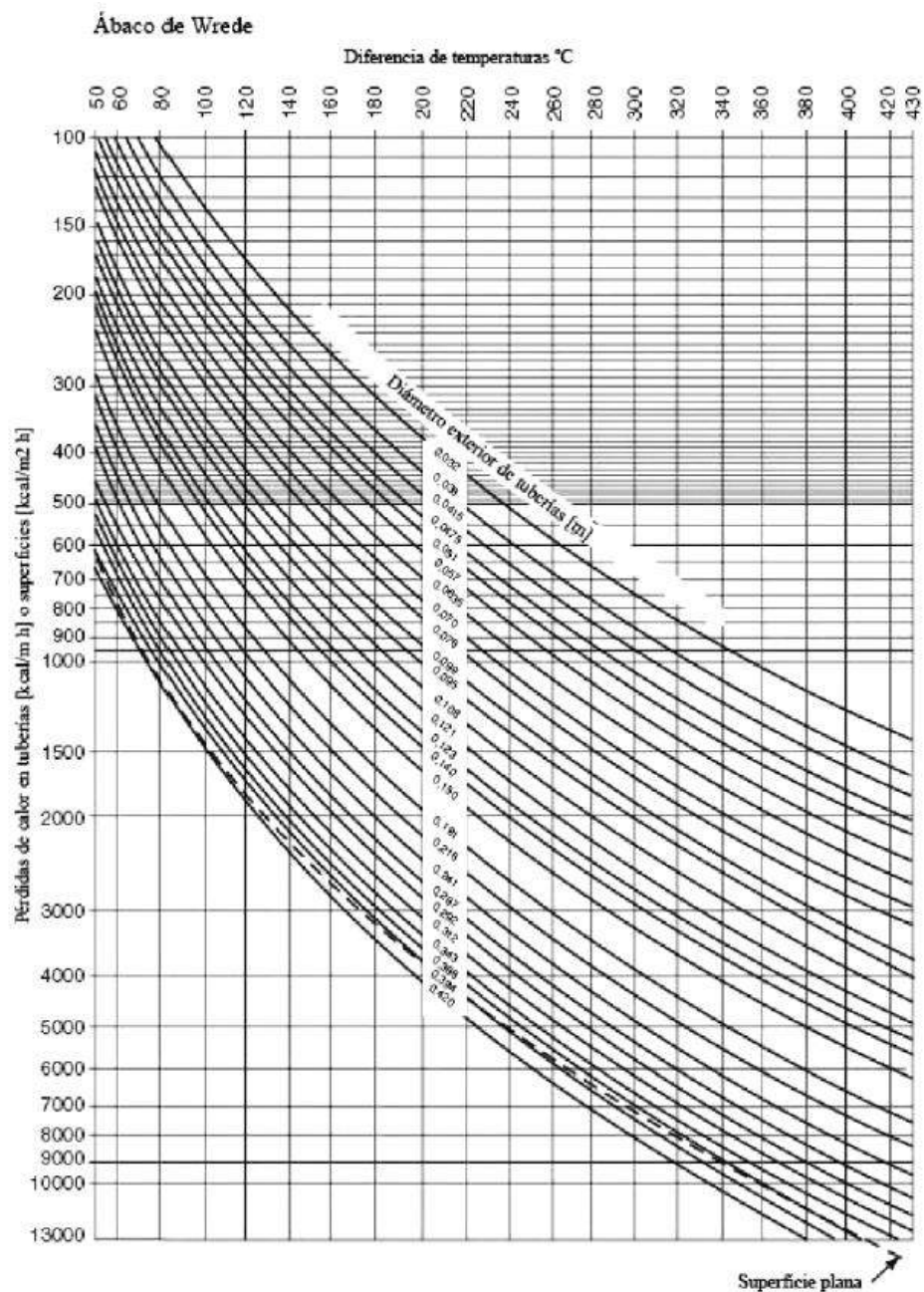


Figura 23: Ábaco de Wrede para pérdidas de calor en accesorios de red

*Eliminación de fugas de vapor*

Siempre que exista una fuga de vapor se tendrá una pérdida energética. Para poder realizar un ahorro energético en este aspecto habrá que localizar y eliminar las fugas de vapor existentes.



Figura 24: Fugas de vapor en red de tuberías

Diámetro medio del orificio (mm)	Presión de vapor (bar manométrica)						
	3,5	7	10	14	17	21	24
3	10,3	18,6	26	34,8	43	54	60
6	41	73	106	139	173	216	243
9	93	166	234	314	390	487	547
13	166	296	426	558	693	868	973
19	373	664	960	1258	1560	1952	2189
25	663	1182	1706	2236	2772	3470	3892
32	1036	1846	2665	3494	4332	5420	6081
38	1492	2659	3838	5030	6238	7805	8757

Tabla 15: Caudal de vapor (kg/h) que sale de un orificio

### Mantenimiento de purgadores

Un purgador de vapor es una válvula automática instalada en una conducción de vapor para eliminar los condensados y el aire.



Figura 25: Purgador de vapor estandar

Los purgadores actúan en función de diversos parámetros físicos, pudiendo ser estos parámetros de tipo mecánico como la densidad, termostático en base a diferencia de temperaturas entre el vapor y el condensado y termodinámico en base a cambios de fase.

Uno de los parámetros esenciales para el buen funcionamiento de los purgadores y su máxima eficiencia es una correcta instalación. Una vez comprobado esto, hay que establecer como objetivo prioritario un mantenimiento adecuado del mismo.

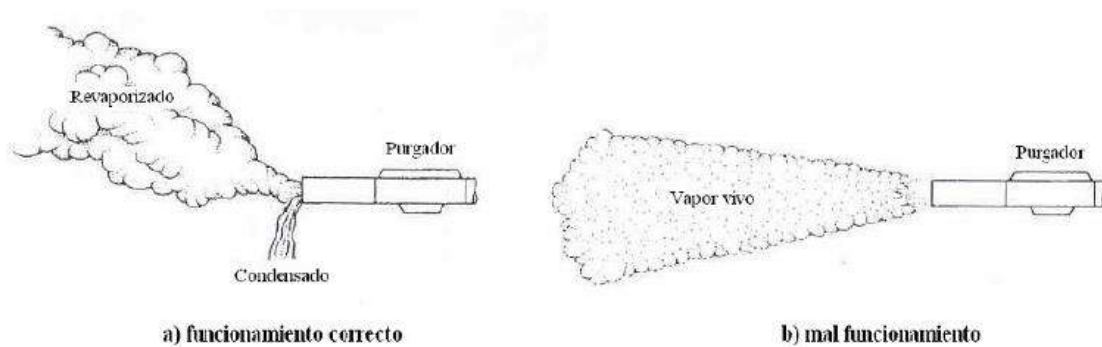


Figura 26: Diferencia entre purgador funcionando adecuadamente y otro que deja escapar el vapor vivo

## 5. COGENERACIÓN

La cogeneración es la producción conjunta, en proceso secuencial, de electricidad, o energía mecánica, y energía térmica útil a partir de un único combustible. Si en lugar de electricidad la transformación química se emplea en generar energía mecánica para accionamiento de compresores, bombas, ventiladores, etc., que utilizan habitualmente motores eléctricos, también lo consideraremos cogeneración. Si además aprovechamos el calor residual para la producción de refrigeración mediante una máquina de absorción estaríamos en la categoría de trigeneración.

### Puntos clave de esta tecnología:

- La instalación de una unidad CHP tiene un coste elevado, pero suele estar financiada hasta en un tercio del total invertido.
- Es una tecnología con alto nivel de ahorro energético y beneficios medioambientales.
- La eficiencia puede ser superior a 80%.
- Proporciona seguridad de suministro y las interrupciones son inadmisibles.

### Incentivos y subvenciones para la instalación de este tipo de equipos:

Una de las peculiaridades de la cogeneración es su inclusión legal, como tecnología de generación eléctrica, en el Régimen Especial de Producción de energía que supone la posibilidad de obtener un beneficio económico derivado de la venta de los excedentes de electricidad. Respecto de esto, los cálculos económicos y el dimensionamiento de este tipo de plantas deberán ser replanteados a raíz de la paralización de las primas al Régimen Especial en el año 2012 y la reciente propuesta de Borrador de Decreto-Ley de Autoconsumo y Balance Neto.

### En que consiste la tecnología CHP:

Generar electricidad a partir de combustible implica reacciones químicas, generalmente exotérmicas. Este calor liberado puede considerarse o un paso intermedio o un subproducto. El paso de Energía química a Energía eléctrica tiene pérdidas en forma de calor del orden del 30%. El aprovechamiento, o sea recuperación, de este calor es lo que aporta eficiencia energética ya que aumenta considerablemente el rendimiento global.

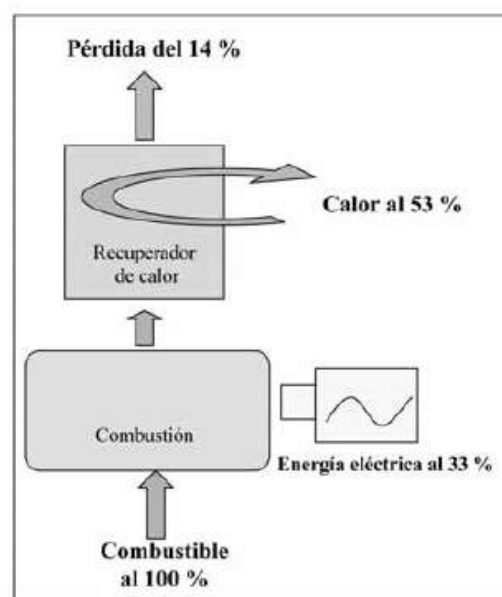


Figura 27: Esquema de un sistema de cogeneración y su consumo energético

Los sistemas de cogeneración se clasifican atendiendo a la máquina responsable de la generación eléctrica. De esta forma se tiene:

➤ Cogeneración con Turbina de Gas

Una turbina de gas, como motor térmico, está compuesta por un compresor de aire, una cámara de combustión y una turbina de gas. El funcionamiento consiste en aspirar aire atmosférico y comprimirlo antes de la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible y se produce la combustión. Los humos de la combustión pasan a través de la turbina cuyo eje arrastra un alternador para la producción de energía eléctrica. Estos humos, una vez fuera de la turbina, conservan una importante energía que puede emplearse en algún aprovechamiento térmico como la producción de vapor o el calentamiento de agua.

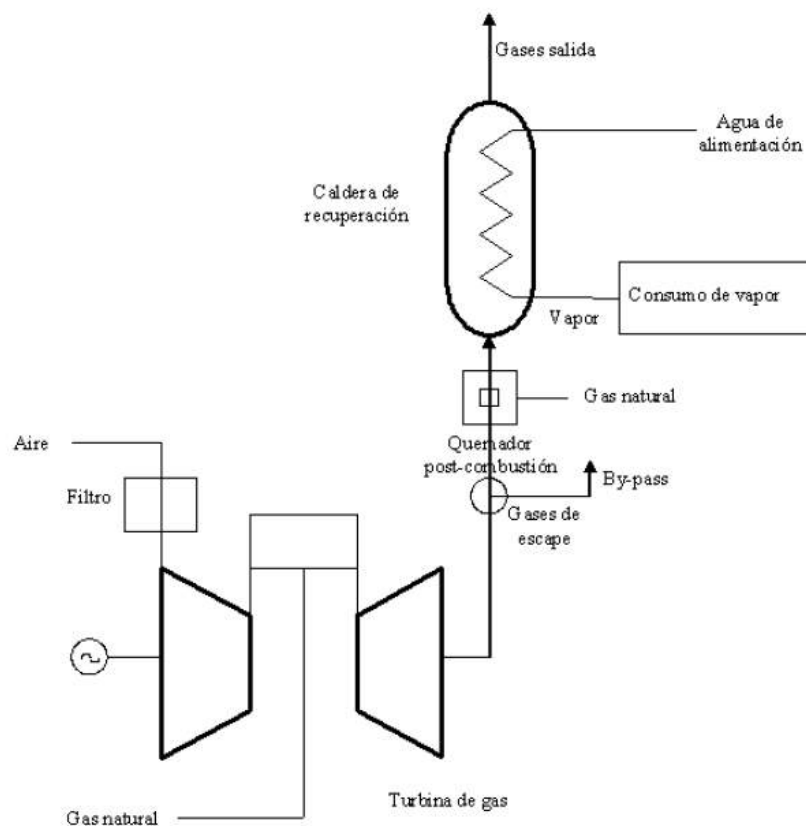


Figura 28: Esquema de un sistema de cogeneración con turbina de gas

➤ Cogeneración con Turbina de Vapor

La turbina de vapor, como motor térmico, consta de un sistema de bombeo, una caldera de vapor, una turbina de vapor y un condensador (si se trata de una turbina de vapor a condensación). Como máquina térmica, la turbina de vapor es más simple que la turbina de gas, aunque si se tienen en cuenta el resto de elementos que componen la instalación (caldera, condensador, sistema de bombeo...) convierten a la turbina de vapor en más compleja. La cogeneración con turbina de vapor consiste en expandir el vapor procedente de una caldera y aprovechar el vapor de salida de la turbina, o el obtenido por medio de extracciones para el proceso u otros usos.

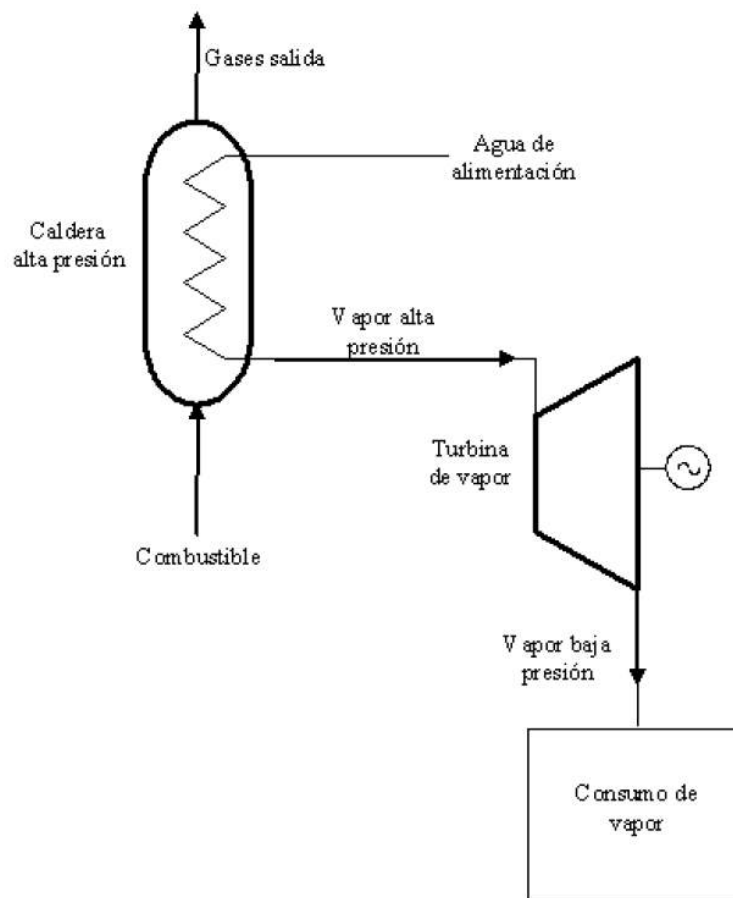


Figura 29: Esquema de un sistema de cogeneración con turbina de vapor

### ➤ Cogeneración con Motor Alternativo

Los componentes principales de un motor alternativo son un conjunto cilindro-pistón y un conjunto biela-manivela. El ciclo del fluido que atraviesa el motor tiene cuatro fases:

- Llenado del cilindro por el fluido
- Compresión del fluido
- Combustión
- Salida de los gases

La expansión de los gases de la combustión que se produce en el interior del cilindro acciona el pistón. El movimiento alternativo del pistón se traduce en un movimiento rotativo gracias al mecanismo biela-manivela. La cogeneración con motor alternativo consiste en emplear el movimiento de rotación del motor para generar energía eléctrica en un alternador. El aprovechamiento térmico en esta instalación viene de utilizar los gases de escape para la producción de vapor en una caldera de recuperación. Asimismo, se puede aprovechar el calor del circuito de refrigeración de los motores para producir agua caliente.

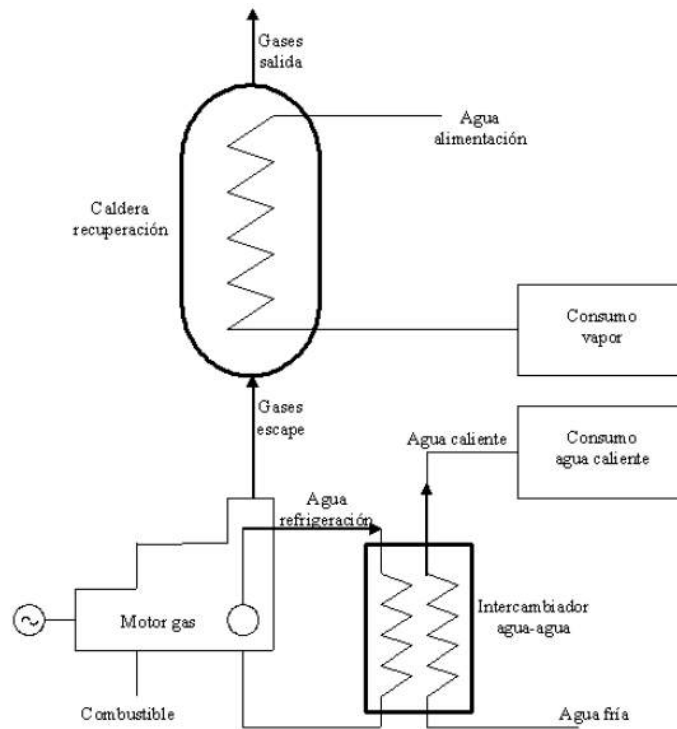


Figura 30: Esquema de un sistema de cogeneración con motor alternativo

AHORRO DE ENERGÍA PRIMARIA QUE SE OBTIENE POR CADA TIPO DE INSTALACIÓN

Sistema	Energía producida (kWh)		Cogeneración		Convencional		Ahorros de energía primaria
			Rendimiento global	Consumo energía primaria (kWh)	Rendimiento global	Consumo energía primaria (kWh)	
Turbina de gas	Electricidad	39,6			54	23,3	73,3
	Calor	42,1			90	46,8	46,8
	<b>Total</b>	<b>81,7</b>	<b>82</b>	<b>100</b>		<b>120,1</b>	<b>17</b>
Turbina de gas con postcombustión	Electricidad	28,5			54	52,8	52,8
	Calor	57,6			90	64	64
	<b>Total</b>	<b>86,1</b>	<b>86</b>	<b>100</b>		<b>116,8</b>	<b>14</b>
Turbina de vapor	Electricidad	15			54	27,8	
	Calor	75			90	83,3	
	<b>Total</b>	<b>90</b>	<b>90</b>	<b>100</b>		<b>111,1</b>	<b>10</b>
Motor alternativo	Electricidad	44			54	81,5	
	Calor	36			90	40	
	<b>Total</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>100</b>		<b>121,5</b>	<b>18</b>

Tabla 16: Ahorro de energía potencial por tipo de sistema de cogeneración



## COMPARACIÓN DE LAS DIFERENTES ALTERNATIVAS DE COGENERACIÓN

Tipo	Ventajas	Desventajas
Turbina de gas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amplia gama de aplicaciones</li> <li>- Muy fiable</li> <li>- Elevada temperatura de la energía térmica</li> <li>- Rango desde 0,5 a 250 MW</li> <li>- Gases con alto contenido en oxígeno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limitación en los combustibles</li> <li>- Tiempo de vida relativamente corto</li> <li>- En funcionamiento discontinuo los costes de mantenimiento se disparan</li> <li>- Mal funcionamiento a cargas parciales</li> </ul>
Turbina de vapor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rendimiento global muy alto</li> <li>- Extremadamente segura</li> <li>- Posibilidad de emplear todo tipo de combustibles</li> <li>- Larga vida de servicio</li> <li>- Amplia gama de potenciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baja relación electricidad/calor</li> <li>- No es posible alcanzar altas potencias</li> <li>- Puesta en marcha lenta</li> <li>- Coste elevado</li> </ul>
Motor alternativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevada relación electricidad/calor</li> <li>- Alto rendimiento eléctrico</li> <li>- Bajo coste</li> <li>- Tiempo de vida largo</li> <li>- Capacidad de adaptación a variaciones de demanda</li> <li>- Admiten funcionamiento discontinuo</li> <li>- Pueden funcionar a cargas parciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto coste mantenimiento</li> <li>- Energía térmica muy distribuida y a baja temperatura</li> </ul>

Tabla 17: Ventajas y desventajas de los tipos de sistemas de cogeneración

## TRIGENERACIÓN

La trigeneración es la producción simultánea de energía mecánica (normalmente empleado en la producción de energía eléctrica), de energía térmica útil y de frío a partir de un único combustible. La trigeneración no disminuye la demanda de energía de un proceso industrial o un edificio, sino la cantidad de energía primaria necesaria para satisfacerla. Para obtener una instalación de trigeneración bastará con añadir un elemento generador de frío a una plana de cogeneración. Para la producción de frío se emplean máquinas de absorción que debido a su bajo COP sólo se justifican para las situaciones en las que la demanda de frío es importante a lo largo del año.

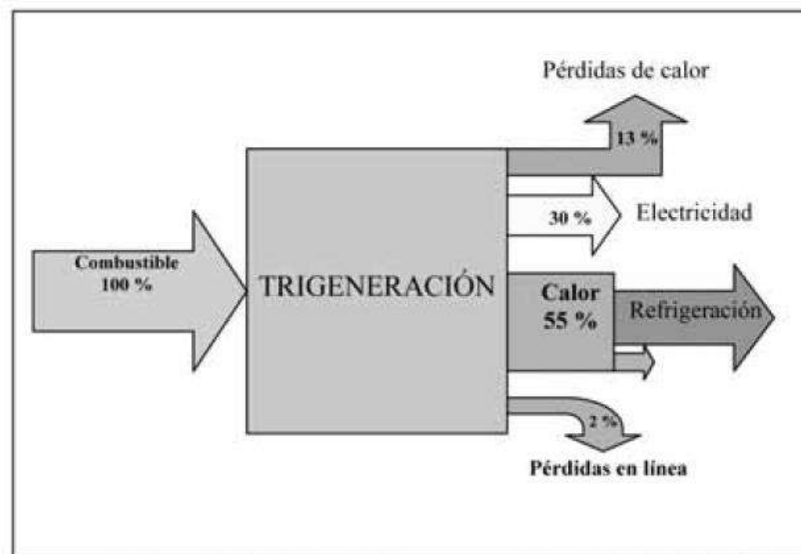


Figura 31: Esquema energético de un sistema de trigeneración

## 6. OTROS

### *Convertidores de frecuencia en ventiladores de combustión y bombas de agua en alimentación de calderas*

Frecuentemente, los ventiladores y bombas de agua de alimentación están muy sobredimensionados, funcionando una gran parte del tiempo en condiciones muy por debajo de las nominales. Por este motivo, el cortatiros y las válvulas empleadas para la regulación del caudal trabajan en posición muy cerrada durante todo el tiempo. En la regulación de dichas variables, gran parte de la potencia absorbida por los motores de accionamiento se emplea en compensar la pérdida de carga producida en el cortatiros y la válvula.

La sustitución de estos sistemas convencionales por sistemas que realizan la regulación de caudal, en base a la variación de velocidad de los motores eléctrico de accionamiento por medio de convertidores de frecuencia, evita esta pérdida de energía. Cuando el régimen de trabajo de una caldera de producción superior a 25 t/h varía frecuentemente, siendo durante mucho tiempo menor del nominal, el consumo de energía de los accionamientos del ventilador y de la bomba se puede reducir hasta un 70% y un 25% respectivamente, de la energía consumida con los sistemas de regulación convencionales. El pay-back de la inversión se puede asegurar en este tipo de instalaciones por debajo de 2 años.

### *Considere instalar ventiladores de velocidad variable*

Los ventiladores se utilizan para promover el flujo de aire de combustión y gases de escape. Tradicionalmente, esto está controlado por amortiguadores interrumpir el flujo de aire de un ventilador que funciona a plena carga.

Se pueden ahorrar instalando ventiladores de velocidad variable para variar el flujo de aire en lugar de usar los amortiguadores. Esto es una una solución mucho más eficiente que también involucra menos partes móviles y, por lo tanto, tiende a tener menor costos de mantenimiento.



Figura 32: Calderas Biasi Powercond con quemador de microllama y ventilador de velocidad variable

### 2.3.2. MOTORES Y MOTORES ELÉCTRICOS

En procesos químicos la electricidad se utiliza principalmente para conducir maquinaria rotativa (motores) y para la electrólisis. Es una forma costosa de energía y solo debe usarse cuando no hay otra alternativa energética. Sin embargo, el uso de electricidad puede medirse y controlarse con relativa facilidad. Alrededor del 60% de toda la electricidad utilizada en la industria química del Reino Unido es para motores eléctricos.

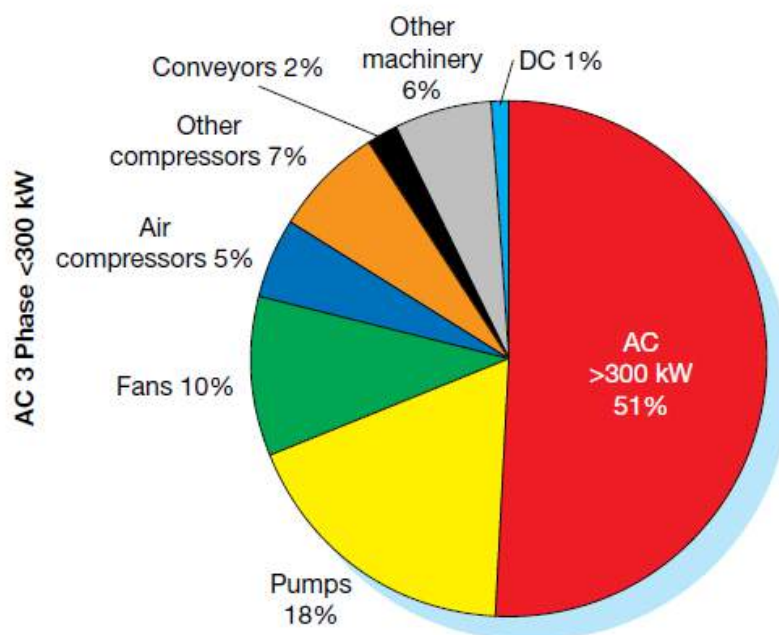


Figura 33: Energía consumida por motores media dentro de industria química de UK<sup>17</sup>

<sup>17</sup> Fuente: Savings in inorganic sites, Companion Guide

Un motor eléctrico es una máquina que absorbe energía eléctrica de la red y la transforma en energía mecánica. En el proceso de transformación se dan unas pérdidas que se disipan en forma de calor. Se puede definir el rendimiento del motor eléctrico como la relación entre la energía mecánica cedida y la energía eléctrica absorbida de la red.

$$\eta = \frac{P. \text{mecánica cedida}}{P. \text{eléctrica absorbida}} = \frac{P. \text{eléctrica absorbida} - P. \text{pérdidas}}{P. \text{eléctrica absorbida}}$$

Un mal rendimiento del motor acarrea ciertas consecuencias:

- Alto coste económico del funcionamiento del mismo, lo que implica su sustitución por otro mejor.
- Vida media más corta de la máquina, si el punto de funcionamiento se estabiliza a una temperatura superior a la de diseño.
- Necesidad de elementos de refrigeración para evacuar el calor.

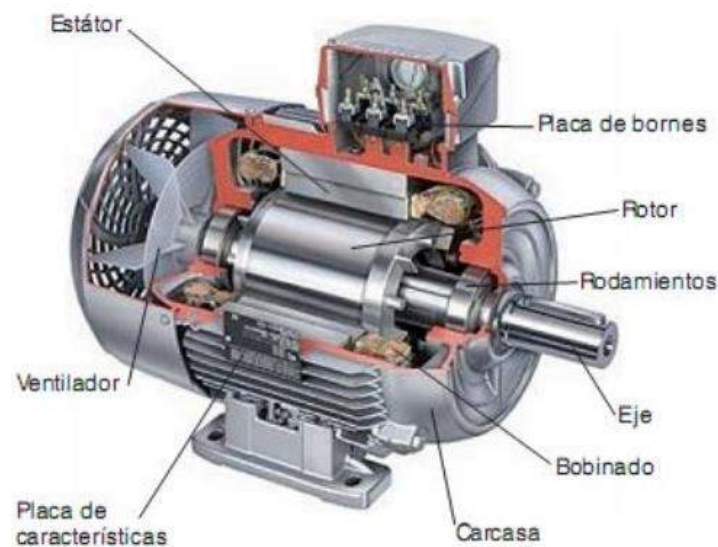


Figura 34: Componentes de un motor eléctrico

Por lo general, los motores funcionan entre el 40 y el 80% de la capacidad total y, a menudo, se dejan funcionando cuando no son necesarios.

Los motores eléctricos se clasifican de la siguiente manera:

Motores de corriente continua	Motores de corriente alterna
<ul style="list-style-type: none"> <li>- De corriente continua industrial</li> <li>- De tracción</li> <li>- De imanes permanentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sincronos</li> <li>- Asincronos o de inducción polifásicos</li> <li>- Asincronos o de inducción monofásicos</li> <li>- Motores de colector</li> <li>- Motores asincronos sincronizados</li> <li>- Motores lineales</li> </ul>

Tabla 18: Clasificación de motores de corriente continua

## TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Motores de alto rendimiento	- Sustituir nuestros motores estándar por motores HEM	2-3	3-6%	Alto
Verifique el tamaño correcto	- Comparar las características del motor con la demanda requerida	1	5-8%	Medio
	- Comprobar si hay sobredimensionamiento y posibilidad de cambiarlo por uno más pequeño	3		
	- Adecuación de los motores a la potencia necesaria	2		
	- Ejecutar el motor en un modo de conexión diferente	2		
Mantenimiento de motores	- Incluir programas de lubricación	1	10%	Bajo
	- Técnicas de mantenimiento predictivo	1		
	- Apagarlo cuando no sea necesario	1		
	- Desarrollar una política de gestión de motores	1		
Cambiar el tipo de accionamiento	- Si tenemos accionamientos asincronos de más de 1.000kW y que se arranquen pocas veces por sincronos	3	1%	Alto
Reduzca la carga de bombeo	- Reducir volumen del líquido	1	<0,5%	Bajo
	- Reducir volumen de aire del ventilador	1		
Velocidad de motores	- Alimentar los ventiladores con un variador de velocidad o frecuencia	3	17%	Alto
	- Emplear motores de dos velocidades para variar el caudal de una bomba o ventilador cuando hay dos regímenes de carga	2		

Tabla 19: Oportunidades de ahorro en motores eléctricos

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

### *Utilización de motores de alto rendimiento*

Los motores de mayor eficiencia (HEM) están entre 3% y 6% de mejora de eficiencia respecto a otros motores y sus precios empiezan a ser tan competitivos como los de los motores estándar. Tenga en cuenta que usualmente es más rentable reemplazar motores que rebobinarlos, aunque para motores más grandes que operan intermitentemente, rebobinar puede ser la mejor opción. Un cálculo rápido de los costos de reemplazo y operativos mostrarán la mejor opción.

### *Verifique el tamaño correcto*

La mayoría de los motores de proceso en el sector químico operan a carga parcial, aunque los motores funcionan más eficientemente a plena carga. Por lo general, hay buenas razones para la carga parcial operación, como un requisito, o una necesidad percibida, tener capacidad adicional. Para maximizar la eficiencia, sin embargo, se debe usar un motor más pequeño.

Además, el empleo indiscriminado de los coeficientes de seguridad encadenados da lugar a motores excesivamente sobredimensionados.

Compare los detalles en la placa de características del motor con la demanda requerida por el equipo. En muchos casos, los motores están sobredimensionados en un 20% o más. Por ejemplo, una aplicación puede requerir un motor de 7.5kW, pero se ha suministrado con un motor eso es 11kW, considere reemplazarlo con uno más pequeño, con mejor eficiencia siempre que sea posible.

Si el motor tiene una carga muy ligera (<40%) y no puede cambiarlo, es posible ejecutar el motor continuamente en un modo de conexión diferente que podría resultar en ahorro energéticos entre el 5 y 10%.

### *Mantenimiento de motores*

Llevar a cabo un mantenimiento regular de los motores utilizados para las bombas de accionamiento y los ventiladores puede reducir el consumo de energía hasta en un 10%.

Los programas de mantenimiento consisten en programas de lubricación, limpieza, tensión de la correa y controles de alineación. También vale la pena considerar el uso técnicas de mantenimiento predictivo que pueden señalar de antemano cuando las piezas necesitarán ser reemplazadas. El proveedor del motor podrá proporcionarle más detalles en las revisiones de mantenimiento recomendadas.

### *Utilización de motores síncronos en vez de asíncronos*

En aquellos accionamientos de más de 1.000 kW con elevado número de horas de servicio es conveniente planear la utilización de motores síncronos en vez de asíncronos, por su mejor rendimiento y, aunque sea secundario, por la posibilidad de que generen energía reactiva en adelanto. Es conveniente, sin embargo, que arranquen pocas veces, dadas las dificultades que presenta el motor síncrono para el arranque.

### *Reduzca la carga de bombeo*

Investigar el potencial para reducir la carga de bombeo porque el volumen de líquido utilizado en un proceso o enfriamiento puede ser innecesariamente alto. De la misma manera, hay oportunidades para reducir la carga del ventilador al reducir el volumen de aire fresco que alimenta los edificios o la reducción de los flujos de gas utilizados en diversas operaciones de proceso.

### *Alimentar los ventiladores con un variador de velocidad o frecuencia*

Un VSD es un dispositivo electrónico que controla las características del suministro eléctrico del motor. Permiten controlar la velocidad y el par de un motor logrando una mejor coincidencia con los requisitos del proceso de la máquina que conduce y operarlo lo más cercano a su régimen más eficiente.

Los ventiladores y las bombas suelen ser las mejores aplicaciones para un VSD. Esto se debe a que son las aplicaciones más probables de tener demanda variable.

Los VSD han mejorado considerablemente en los últimos años y ahora hay unidades seguras disponibles a un costo relativamente bajo. La retro-adaptación de los VSD puede ofrecer una amortización breve cuando los procesos operan con una reducción importante. Por ejemplo, una empresa de refinación de petróleo ahorraría más de 28.000 €/ año al instalar VSD en dos motores de ventilador de 169 kW, una recuperación simple de menos de dos años.

La instalación de un VSD se justifica fácilmente cuando hay una carga variable debido a los costes de funcionamiento reducibles del motor.

*NOTA:* La instalación de motores de velocidad múltiple es una alternativa a los VSD como veremos a continuación.



Figura 35: Motor eléctrico con variador de frecuencia

*Emplear motores de dos velocidades para variar el caudal de una bomba o ventilador cuando hay dos regímenes de carga*

Este tipo de motores son de aplicación cuando los flujos a regular tienen un nivel de caudal a plena carga (100%) y otro nivel de caudal mitad (50%). En este caso la inversión es mucho menor que en el otro caso anterior (variador de frecuencia) pues se limita a un motor de dos velocidades y a un contactor adicional.

*Apagarlo*

Se desperdician cantidades significativas de dinero y energía por motores que se dejan funcionando cuando no se requiere. Esto es a veces porque el personal cree falsamente que tienen que permanecer encendidos por una razón específica. Es interesante desarrollar procedimientos para apagar el motor, la bomba o ventilador, además, una solución alternativa sería usar un temporizador o un sensor automático de apagado.

*Desarrollar una política de gestión de motores*

Las políticas de gestión de motores son documentos acordados que dar detalles del uso del motor en un sitio y presentar una estrategia para reemplazar motores con equipos de mayor eficiencia.

Las políticas escritas forman una parte vital de toda campaña de gestión energética en la industria.



### 2.3.3. AIRE COMPRIMIDO Y VACÍO

Se usan grandes cantidades de aire comprimido para procesos con materias prima y de secado. El aire comprimido también se puede usar para instrumentación, operación de equipos neumáticos y para fines especializados, como la transferencia de líquidos corrosivos. El aire comprimido generalmente se genera centralmente y se distribuye a través de redes de tuberías y válvulas, y a diferentes presiones y calidades. Los sistemas a menudo se descuidan, con más del 30% de la energía total desperdiciada debido a caídas de presión, fugas del sistema e ineficiencias en la generación y el tratamiento.

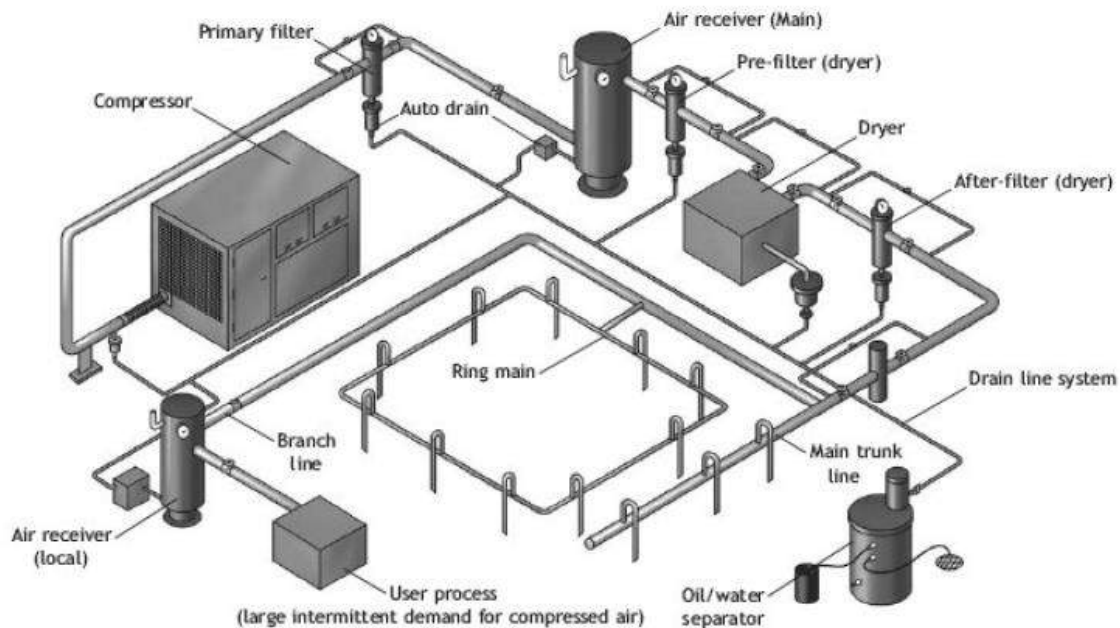


Figura 36: : Esquema de instalación de aire comprimido en la industria

El consumo rara vez se supervisa en el punto de uso y, como resultado, los costes de producción y distribución no se atribuyen a actividades específicas y simplemente se consideran gastos indirectos inevitables. Esto da lugar a la actitud de que el aire comprimido es "libre" y conduce a gran parte del desperdicio. Se puede ahorrar en la generación y distribución de aire comprimido, así que comience por verificar si la tubería de aire podría funcionar a una presión y / o calidad más baja.



Figura 37: Compresor industrial 20HP 3F, Tanque 500ml 80 PCM



## TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Mantenimiento correcto de compresores	- Reducir las pérdidas en la aspiración.	1	Variable	Bajo-Medio
	- Comprobar la refrigeración.	1		
	- Comprobar que no existan pérdidas en el accionamiento mecánico.	1		
	- Lubricar adecuadamente	1		
	- Comprobar las válvulas de entrada y de salida.	1		
	- Mantener la tubería de descarga en buenas condiciones.	1		
	- Eliminar tiempos muertos.	1		
	- Añadir capacidad de compresión al compresor	1		
	- Seguir las normas de mantenimiento preventivo dadas por el fabricante.	1		
	- Racionalizar el uso del compresor	1		
	- Apagado o eliminación de uso innecesario	1		
	- Sustituir los compresores viejos por otros nuevos con mejor rendimiento	3		
- Evitar que los compresores trabajen en vacío	1			
Toma de aire	- Enfriar al máximo el aire en la aspiración	2	<1%	Medio
Eliminar fugas de aire comprimido	- Identifique y repare fugas	2	<1%	Bajo
Recuperar el calor de refrigeración de compresores	- Recuperación del 96% de energía que no se transfiere de forma térmica para por ejemplo calefacción	2	3%	Medio
Mantener la presión mínima en la red	- Instalar un regulador de presión localmente en el dispositivo	3	5%	Largo
	- Tener un compresor separado para los usuarios de alto nivel y usar el compresor general a baja presión para ahorrar energía.	2		

Tabla 20: Oportunidades de ahorro en sistemas de aire comprimido

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

## MEDIDAS PARA LA MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO:

### *Mantenimiento correcto de compresores*

El aire comprimido se obtiene de los compresores de aire. Dado que el rendimiento mecánico de estos es bajo, habrá que tratar que el compresor trabaje en perfectas condiciones para obtener una alta eficiencia del sistema. Hay que tener en cuenta que, por tratarse de un fluido en movimiento, cualquier tipo de resistencia a su paso genera unas pérdidas de energía que se disipan en forma de calor. Para evitar este tipo de situaciones hay que realizar una serie de operaciones que se resumen en:

- Reducir las pérdidas en la aspiración. Para ello hay que elegir convenientemente el filtro, diámetro de tubería de aspiración y longitud de la misma.
- Comprobar la refrigeración. Para un buen rendimiento, el calor producido debe eliminarse tan rápidamente como se produzca. En consecuencia, todo el sistema de refrigeración debe mantenerse en buen estado.
- Comprobar que no existan pérdidas en el accionamiento mecánico. Si el accionamiento es por correas comprobar la tensión y el estado de las mismas.
- Lubricar adecuadamente
- Comprobar las válvulas de entrada y de salida.
- Mantener la tubería de descarga en buenas condiciones.
- Eliminar tiempos muertos.
- Añadir capacidad de compresión al compresor, caso de ser necesario, de acuerdo a sus curvas características.
- Seguir las normas de mantenimiento preventivo dadas por el fabricante.

### *Enfriar la toma de aire de los compresores*

Cuanto más frío esté el aire en la aspiración de los compresores más cantidad de éste entrará al compresor ya que la densidad del aire disminuye con la temperatura. Es decir, para un mismo volumen de compresión, más cantidad de aire será comprimida, por lo tanto, aumenta el rendimiento de los compresores.

### *Eliminar las fugas de aire comprimido*

El hecho de que existan fugas en la red de aire comprimido implica que se está desaprovechando parte de la energía empleada en la compresión y este es el mayor motivo de pérdidas en un sistema de aire comprimido (hasta 30%). Por eso es de gran importancia eliminar al máximo las fugas de aire para evitar perder esta energía.

Hay tres formas principales de identificar fugas:

- *Escuchar* - haga funcionar el compresor sin usar aire herramientas o equipos. Asegúrese de que haya tan poco ruido de fondo como sea posible y luego camine lentamente alrededor del sistema escuchando silbidos o sonidos ásperos. Verifique cuidadosamente todas las juntas, bridas y válvulas.
- *Mirar* -. Aplicar la solución simple de agua con jabón a todas las tuberías y luego mirar para ver dónde el agua jabonosa burbujea.
- *Detectar* - contratar o comprar un detector de fugas por ultrasonidos (equipo de un proveedor de sistema de aire comprimido). Utilizando el equipo ultrasónico es la forma más precisa de verificar para fugas.

Marque todas las filtraciones antes de intentar cualquier trabajo de reparación, asegúrese de que el sistema es despresurizado, pequeñas fugas pueden repararse en el sitio, pero póngase en contacto con el proveedor del equipo antes de abordar goteos mayores. Consulte a un consultor externo si tiene alguna duda sobre cómo proceder.

Pruebe una prueba 'sin carga', es decir, ejecutar el sistema de aire comprimido en tiempos tranquilos, cuando no hay equipo que lo necesite. Esto ayudará a identificar fugas con mayor facilidad y, si no hay aire siendo utilizado en el sistema, mostrará cuánto aire está siendo perdido a través de fugas. También verifique el sistema de distribución para ver si hay líneas redundantes que todavía están 'en vivo', si se encuentra alguna, debe borrarse.

#### *Recuperar el calor de refrigeración de compresores*

La recuperación de calor de compresores constituye una operación interesante desde el punto de vista energético, a partir de un cierto tamaño de compresor.

Del 100% de la energía mecánica o eléctrica que absorbe el compresor, tan sólo un 4% queda asociada en forma de energía térmica al aire comprimido. El resto, pasa de una forma u otra al ambiente. Esta energía es aprovechable para otras utilidades como calefacción.

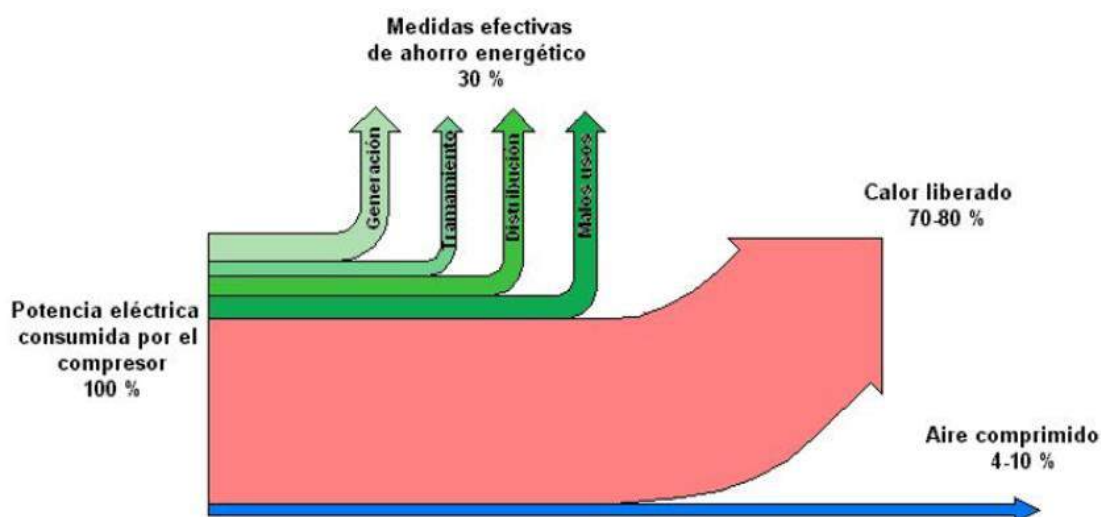


Figura 38: Digrama de Sankey de un sistema de aire comprimido

#### *Mantener la presión mínima en la red*

En ocasiones, la red de aire comprimido contiene el aire a una presión superior a la necesaria en proceso. Este aumento de la presión se traduce en un consumo innecesario de energía. Por ello, hay que tratar que la presión de la red de aire comprimido sea lo más cercana posible a la de proceso.

Puede valer la pena instalar un regulador de presión localmente en el dispositivo para asegurar que el aire se mantenga en el nivel correcto.

Una revisión de los dispositivos que usan aire comprimido puede mostrar que algunas pocas aplicaciones este en uso de una muy alta presión, mientras que la mayoría podría operar con presión más baja. Si este es el caso, podría valer la pena tener un compresor separado para los usuarios de alto nivel y usar el compresor general a baja presión para ahorrar energía.

### *Evitar que los compresores trabajen en vacío*

El trabajo de los compresores en vacío supone unos consumos de energía innecesarios evaluables entre un 20-25%, según la potencia de los equipos. Por otra parte, el trabajar en vacío supone un mayor consumo de energía reactiva, con la consiguiente incidencia en el cost3 del kWh a través de las penalizaciones en la facturación o en las inversiones necesarias en baterías de condensadores.

Por lo tanto, cabe la posibilidad de analizar una posible desconexión de estos equipos cuando trabajen en vacío, en función del número de arranques y paradas que tendría que soportar el motor.

### *Racionalizar el uso del compresor*

Se pueden conseguir más ahorros reduciendo el número de compresores de aire en funcionamiento. Por ejemplo, un número de compresores operando a carga parcial podrían ser reemplazados por menos compresores que operan a plena carga. Esto es consecuente con el hecho de que los compresores operan más eficientemente a máxima capacidad. Vale particularmente la pena si se han aplicado las anteriores reducciones de aire comprimido comentadas.

### *Apagándola*

Mire lo que sucede con el equipo que consume aire cuando no hay producción, ¿está consumiendo?, metodologías que se pueden aplicar:

- Instigar rutinas de desconexión e incluirlas en una política de uso de aire comprimido. Considera si es apropiado para hacer esto para cada proceso y, de ser así, trabajar cuando deberían implementarse.
- Preguntar si se apaga puede ser automatizado usando válvulas solenoides accionadas por tiempo o enclavamientos que permiten que una línea de aire comprimido funcione solo si otro equipo ya se está ejecutando.
- Opción más compleja, usar sensores que detecten cuando una parte está presente en un transportador, por ejemplo, para asegurarse de que las válvulas de aire comprimido estén operando como y cuando sea necesario. Estos sistemas pueden ser sencillos de instalar y rentables de payback. Se puede poner en contacto con un proveedor de equipos para obtener más información.

### *Eliminar el uso innecesario*

Verifique el uso innecesario de aire comprimido, por ejemplo, pregunte si el aire comprimido se usa para limpiar el equipo en lugar de un método alternativo que sería más rentable.

Para protegerse de esto, escriba una política de uso que detalle usos aceptables para aire comprimido, y sugiera seguridad y alternativas fáciles Asegúrese de que el equipo o las herramientas estén proporcionadas para los métodos alternativos.

### *Sustituir los compresores viejos por otros nuevos con mejor rendimiento*

## 2.3.4. ENFRIAMIENTO Y REFRIGERACIÓN

### AGUA DE REFRIGERACIÓN

El exceso de las cargas térmicas suministradas a la planta debe ser eliminadas por un sistema de refrigeración. Los sitios de procesamiento químico generalmente tienen sistemas de enfriamiento y refrigeración sustanciales.

Los estudios han demostrado que se puede lograr un ahorro de energía de hasta un 25% sin una gran inversión de capital dentro del área de frío industrial. El sistema de refrigeración debe proporcionar la máxima producción en condiciones de verano y, una vez instalado, existe la tendencia de que el sistema sea aceptado como una parte fija de la planta. De hecho, generalmente hay mucho margen para revisar y recomponer los sistemas de enfriamiento en general para tener en cuenta:

- Cambios a los horarios de producción.
- Factores estacionales.
- Mejoras a la refrigeración y otras plantas de refrigeración.
- Oportunidades para reducir la carga de enfriamiento por intercambio de calor en otra parte de la planta.

La mayoría de las plantas tienen refrigeración disponible en formas alternativas, por lo que tiene sentido seleccionar la forma de refrigeración más sencilla y de menor costo. La disponibilidad y la diferencia de temperatura generalmente determinan la selección del medio de enfriamiento para cada aplicación. Las principales medidas dependen también de la eficiencia de bombeo del agua de refrigeración por la planta así como su correcto transporte a través de las tuberías, a continuación vamos a enumerar las principales medidas de ahorro teniendo en cuenta que su payback es prácticamente inmediato una vez aplicadas y su coste es mínimo o nulo, como hemos comentado antes el ahorro energético puede llegar a ser de hasta el 25% del total:

- Seleccionar la bomba con máxima eficiencia para las condiciones dadas de la operación.
- Sustituir si es factible las bombas más grandes por varias pequeñas.
- Apagar el sistema una vez no se necesita su funcionamiento.
- Eliminar atascos en tuberías y reemplazar o reparar el material defectuoso.
- Controlar el caudal de agua en diferentes puntos de la planta o instalar controladores para este fin.



Figura 39: Tuberías de transporte de agua de refrigeración por el exterior de una planta química

## PRODUCCIÓN DE FRÍO

La producción de frío se realiza de forma totalmente autónoma mediante máquinas frigoríficas sofisticadas, siendo el único problema a salvar el encontrar una fuente de energía eléctrica o mecánica que accione todo el sistema. El frío se produce cuando existen elementos capaces de robar calor del ambiente en el que se encuentran, de tal forma que se produce el calentamiento de los primeros y el enfriamiento del medio donde extraen el calor.

Debido a la importancia que tienen los calores latentes sobre los sensibles y sobre todo del calor latente de vaporización con respecto del de fusión, el frío industrial se consigue a través de líquidos que son capaces de absorber gran cantidad de calor al vaporizarse, siempre a presiones determinadas y controladas. Las ventajas de los refrigerantes líquidos con respecto de los sólidos son las siguientes:

- Se puede controlar la temperatura, la presión de vaporización y la refrigeración con gran facilidad.
- No se desaprovecha el líquido refrigerante, ya que este se puede recoger y condensar repetidas veces, de tal forma que se produzca una fuente continua de vaporización, y por lo tanto, de producción de frío industrial.

Las máquinas frigoríficas trabajan según un ciclo frigorífico donde, empleando un trabajo externo, energía eléctrica o mecánica (90% casos esta última), absorben calor de un foco frío, enfriándolo aún más y lo entregan a un foco caliente, calentándolo aún más. Si el elemento útil del ciclo es la absorción de calor del foco frío, el ciclo se denomina ciclo frigorífico y si, por el contrario, el efecto útil es la cesión de calor al foco caliente, se tendrá el ciclo de una bomba de calor.

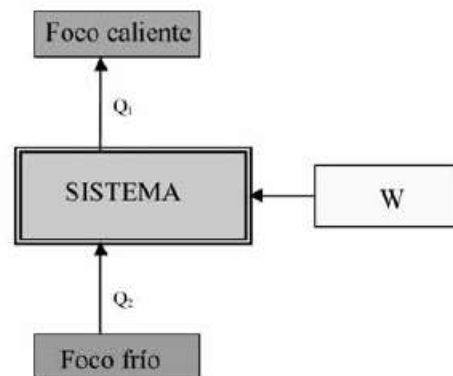


Figura 40: Esquema energético de cesión de calor de un foco frío a uno caliente

El sistema de refrigeración por compresión de vapor es el más empleado actualmente y sobre el mismo efectuaremos la mayoría de los análisis de ahorro.

El ciclo de compresión de vapor está basado en el ciclo inverso de Carnot, que representa la máquina frigorífica ideal. El ciclo de Carnot es un ciclo teórico y su conocimiento proporciona las bases para entender los conceptos necesarios para estudiar el ciclo real de compresión de vapor, que es el que siguen las instalaciones convencionales.

Figura 4. Diagrama T-s del Ciclo de Carnot

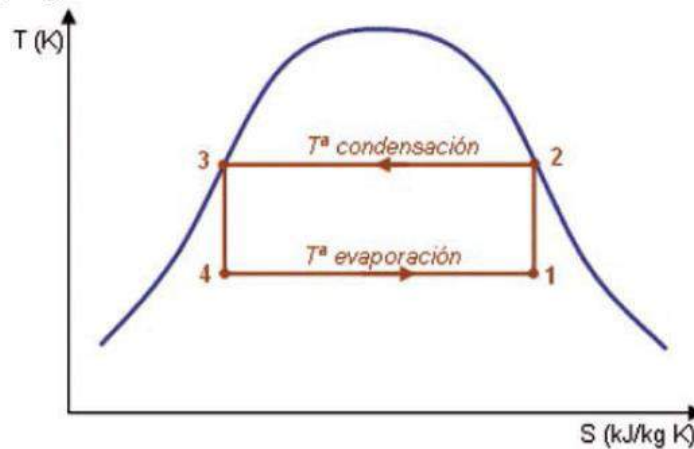


Figura 41: Ciclo de Carnot

Donde:

- Compresión adiabática y reversible: Isentrópica (1-2)
- Enfriamiento isoterma. (2-3)
- Expansión adiabática y reversible: Isentrópica. (3-4)
- Calentamiento isoterma. (4-1)

Coefficiente de Eficiencia Energética (COP).

Se define como la cantidad de refrigeración obtenida (potencia frigorífica) dividido por la energía que se requiere para conseguir dicha refrigeración (potencia de compresión). Depende de la diferencia entre la temperatura de condensación y la de evaporación, de forma que a medida que disminuye esta diferencia, acercándose ambas temperaturas, el COP aumenta. Este es el factor más importante a la hora de proponer medidas de ahorro energético para estos sistemas.

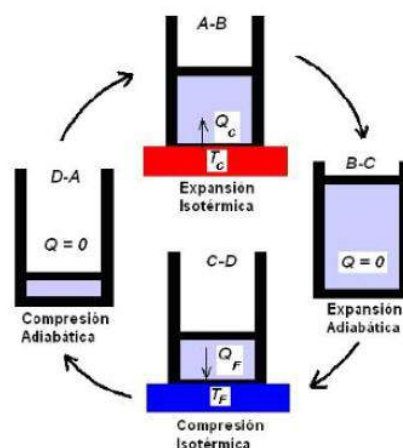


Figura 42: Esquema termodinámico de ciclo de Carnot

Los cuatro componentes básicos del sistema de compresión de vapor son: el compresor, el condensador, el sistema de expansión y el evaporador.

## TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Optimización de condensadores	- Cambiar tipo condensador	2	5%	Bajo
	- Reducir presión de condensación	2		
	- Instalar enfriadores evaporativos	2		
Mantenimiento del equipo	- Limpieza	1	2-4%	Bajo
	- Reparar fugas	1		
	- Impedir infiltraciones de aire	1		
Regulación de la carga en motores	- Parcializar potencia de equipos	1	1%	Bajo
Torres de refrigeración	- Aprovechar enfriamiento natural	2	10%	Medio
	- Optimizar temperatura de enfriamiento de torres	2		

Tabla 21: Oportunidades de ahorro en sistemas de refrigeración

*Trabajar de forma óptima en los condensadores*

Para reducir el trabajo del compresor hay que reducir la presión de condensación y según el ciclo de Carnot, el COP aumenta al disminuir la temperatura de condensación.

Para ello podemos:

- Cambiar el tipo de condensador. Condensadores de aire, agua o evaporativos pueden ser las opciones a estudiar.
- Reducir la presión de condensación cuando el sistema esta operando por debajo de su máxima capacidad por ejemplo a través reduciendo al mínimo que permita la válvula de expansión.
- Instalar un enfriador evaporativo en la toma de aire del condensador, para provocar un enfriamiento previo del aire de refrigeración.

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años



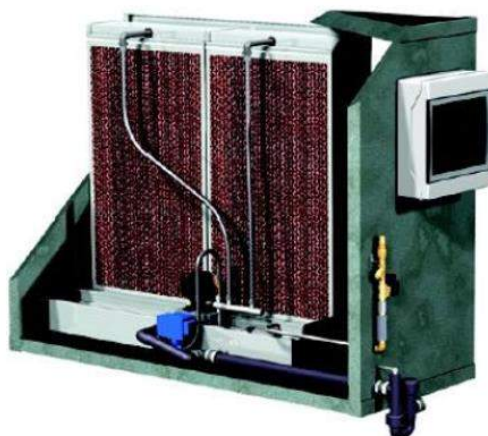


Figura 43: Enfriador evaporativo

#### *Mantenimiento de equipo: condensadores, evaporadores y válvulas de expansión*

El coste energético puede suponer 2-4% por cada grado de temperatura que cambie del óptimo para el sistema si no mantenemos el equipo en buen estado. Repare fugas del refrigerante si existen. La infiltración de aire en el sistema de refrigeración por las tuberías o durante las operaciones de mantenimiento también puede reducir la eficiencia del proceso. Los sistemas de refrigeración deben purgarse regularmente, ya sea manualmente o mediante el uso de unidades automáticas de purga de aire, que tienden a ser más efectivos.

#### *Regulación de la carga en motores*

En toda instalación frigorífica existe un cambio continuo de la demanda de refrigeración, lo cual exige que la producción frigorífica deba ser variable para satisfacer la demanda. Para obtener el máximo de ahorro energético, conseguir un buen acoplamiento a condiciones de carga variable es muy importante. Será necesario parcializar la potencia de los equipos en la medida de lo posible.

#### *Correcto uso de torres de refrigeración*

Si es factible podemos obtener enfriamiento natural a través de torres de refrigeración de agua, el agua subterránea o el agua de río. En muchos casos, las torres de enfriamiento se utilizan para enfriar el agua, pero en otros, se usan enfriadores de refrigeración que consumen cantidades considerables de energía. La mayoría de las plantas tienen posibilidades energéticas de ahorro tales como minimizar el flujo del agua de enfriamiento y el no enfriarla a una temperatura más baja de lo realmente requerido. Se pueden obtener ahorros adicionales mediante operaciones eficientes de bombeo.



Figura 44: Torres de refrigeración industrial

## 2.4. MEDIDAS VERTICALES

## TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Evaporadores de 1 efecto	- Cambios en el evaporador	2	1-3%	Medio
	- Reducir la entrada de agua	1		
Evaporadores de múltiple efecto	- Incluir óptimo número de efectos	3	0,8* n efectos	Alto
	- Aumentar la temperatura de entrada	2		
Optimizar columna de destilación	- Pre-calentamiento de alimentación con residuo	2	10%	Alto
	- Instalación de bombas de calor	3		
Cambios de proceso de secado	- Reducir contenido de agua antes del secado con métodos mecánicos como filtración - Reducir aire en secadores de lecho fluido	2	1%	Medio
Control operación de secado	- Revisar mantenimiento y control de la operación - Mida rendimiento en detalle e identifique variaciones	1	1-3%	Bajo
Mejoras de diseño	- Optimizar entrada de aire o patrón de flujo	2	1-3%	Medio
Recuperación de calor secadora	- Usar calor para precalentar aire de entrada o calentar planta	3	10-25%	Medio

Tabla 22: Oportunidades de ahorro en áreas de ahorro específicas de la industria química

### 2.4.1. EVAPORACIÓN

La evaporación consiste en la adición de calor a una solución para evaporar el disolvente que, por lo general, agua. Usualmente, el calor es suministrado por condensación de un vapor (como vapor de agua) en contacto con una superficie metálica, con el líquido del otro lado de dicha superficie. El tipo de equipo usado depende tanto de la configuración de la superficie para la transferencia de calor como de los medios utilizados para lograr la agitación o circulación del líquido.

Los sistemas de evaporación usualmente se basan en tres tipos de evaporadores:

- Calderas simples, donde la evaporación y la separación se llevan a cabo en un solo recipiente.
- Convección forzada
- Evaporadores de película.

Para aplicaciones donde se forman precipitados, se usan sistemas de circulación forzada con una calandria externa y un separador de líquido de vapor.

Hay buenas oportunidades para mejorar los sistemas de evaporación haciendo un mejor uso del calor latente del vapor exportado desde la planta.

#### *Considere los cambios en el evaporador*

Algunas medidas de ahorro de energía pueden requerir cambios de diseño. Estos pueden incluir buscar formas de recuperar el calor del agua evaporada, como usar un condensador simple si hay un uso para el calor residual, o la compresión mecánica de vapor para entregar calor al evaporador.

#### *Evaporadores de múltiple efecto*

Un múltiple efecto consta de un conjunto de evaporadores. El primer efecto es el primer evaporador y así sucesivamente. El primer efecto es el que recibe el vapor vivo procedente de un generador de vapor.

Durante el funcionamiento, el vapor procedente de la evaporación del primer efecto se utiliza como calefactor en el segundo efecto y el producido en este como vapor calefactor del tercero y así sucesivamente. Para su funcionamiento es necesario que el vapor calefactor en cada efecto condense a una temperatura superior a la de ebullición de este efecto, lo que exige que haya entre los efectos una diferencia de presión suficiente para que se produzca la ebullición.

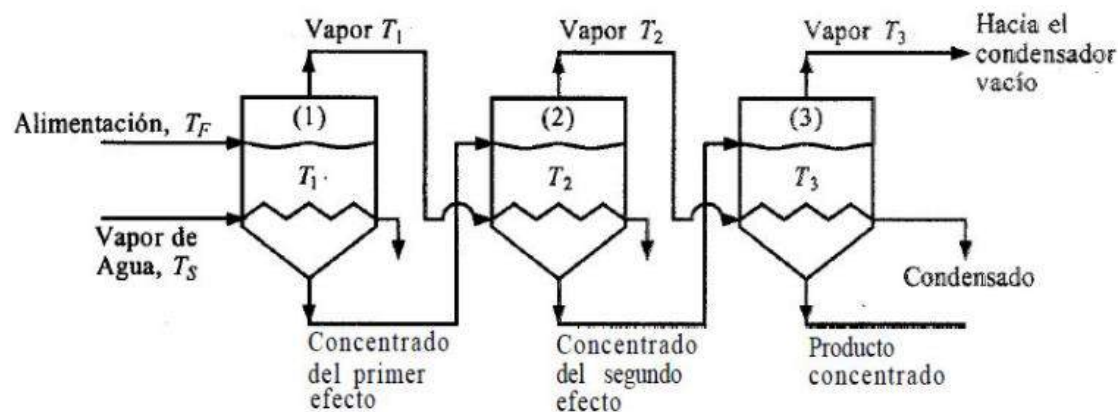


Figura 45: Flujos entrada y salida de evaporadores multiefecto

### Recompresión de vapor:

La energía del vapor formado en la ebullición de una solución puede utilizarse para vaporizar más agua siempre que exista una caída de temperatura en la dirección deseada para la transferencia de calor. En un evaporador de múltiple efecto, esta caída de temperatura se crea mediante una disminución progresiva del punto de ebullición de la solución en una serie de evaporadores que operan con presiones absolutas más bajas. La fuerza impulsora deseada también se puede obtener aumentando la presión (y, por lo tanto, la temperatura de condensación) del vapor formado, utilizando una recompresión mecánica o térmica. El vapor comprimido se condensa después en la cámara de vapor del evaporador del que procede.

La recompresión puede ser de dos tipos:

➤ **Recompresión mecánica**

En este caso el vapor formado no se condensa directamente, sino que se comprime hasta una presión algo más elevada por medio de un compresor centrífugo, transformándose así en “vapor” de calentamiento que entra como alimentación en el calentador. Puesto que la temperatura de saturación del vapor comprimido es superior a la de ebullición de la alimentación, el calor fluye desde el vapor hacia la solución generando más vapor.

➤ **Recompresión térmica**

El vapor se comprime utilizando vapor de alta presión en un eyector de chorro. Esto da lugar a más vapor de calentamiento del que se requiere para la ebullición de la solución, de forma que el exceso de vapor se purga o se condensa. Los eyectores son más baratos y de más fácil mantenimiento que los compresores y los sopladores. Las principales desventajas de la recompresión térmica son la baja eficiencia mecánica y la falta de flexibilidad del sistema frente a variaciones en las condiciones de operación.

La tabla a continuación indica ciertos beneficios que se pueden obtener al agregar efectos con y sin recompresión térmica, se indican hasta siete efectos, ya que la inclusión de más no resulta rentable a nivel de inversión de un nuevo evaporador frente al beneficio que se obtiene de rendimiento.

Tipo de evaporador	Kg vapor /kg evaporados
Simple efecto	1,1-1,3
Doble efecto	0,55-0,7
Doble efecto con termocompresión	0,33-0,45
Triple efecto	0,37-0,45
Cuatro efectos y termocompresión sobre dos de ellos	0,13-0,18
Cinco efectos	0,33-0,25
Siete efectos, termocompresión sobre tres	0,085-0,095

Tabla 23: Consumo de vapor por tipo de evaporador y número de efectos

*Reducir la entrada de agua*

La forma principal de reducir el consumo de energía es reducir la carga al minimizar la cantidad de agua añadida a la alimentación líquida aguas arriba. Las implicaciones de aumentar la concentración de la corriente de alimentación aguas arriba del evaporador necesitan ser consideradas.

*Cambios en la entrada del evaporador*

Un evaporador puede trabajar con mayor rendimiento si conseguimos aumentar la temperatura de entrada de la disolución, ya que a medida que el fluido entra a mayor temperatura se necesita menos vapor vivo para llevarlo a su temperatura de ebullición y evaporarlo, con lo cual la economía aumenta.

**2.4.2. DESTILACIÓN**

La destilación se define como la operación de separar, por transferencia de masa y calor, las sustancias de una mezcla aprovechando la diferencia de volatilidades o puntos de ebullición. Ésta depende de parámetros como el equilibrio líquido-vapor, temperatura, presión, composición, energía (todos relacionados con las presiones de vapor de las sustancias).

Existen diferentes tipos de destilación: simple, por carga, por arrastre de vapor, al vacío, extractiva.

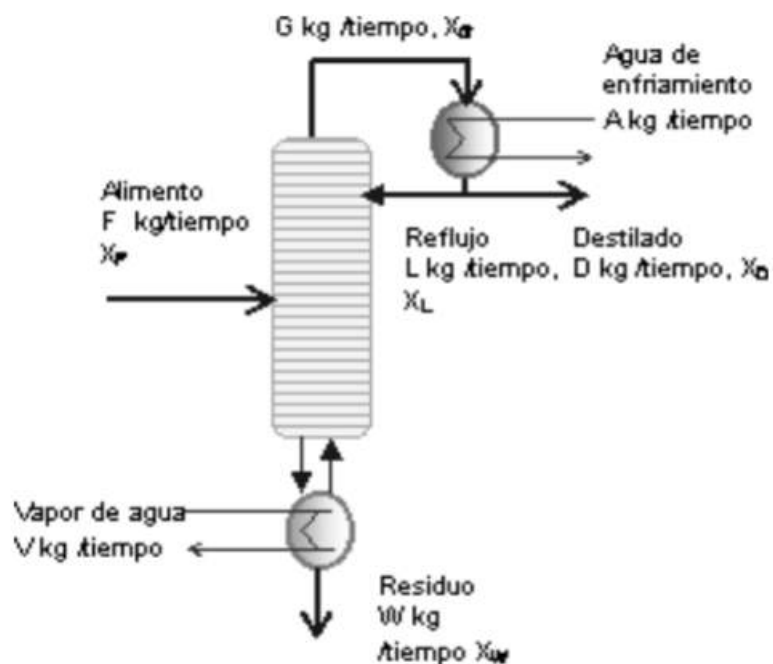


Figura 46: Esquema de torre de destilación para el análisis energético

Los principales ahorros de energía se realizarán garantizando la destilación se lleva a cabo en condiciones óptimas y que los productos no están siendo purificados en exceso.

Una de las opciones de ahorro son las bombas de calor ya que permiten reutilizar parte de la energía utilizada en

el proceso de destilación.

#### *Utilización del residuo para precalentar la alimentación*

La corriente de residuos por su temperatura de salida posee gran potencial energético aprovechable por medio de un intercambiador de calor para precalentar la alimentación.

#### *Sistemas de bombas de calor*

- Recompresión directa de vapor: se presurizan los vapores de la cabeza de columna hasta tal punto que la temperatura resultante sea suficiente para calentar el evaporador de fondo.
- Bombas de calor con circuito auxiliar: un condensador licua el producto de cabeza y evapora el medio auxiliar con la energía que se libera. Después se comprime con la bomba de calor a presión requerida y se condensa en el evaporador produciendo simultáneamente la evaporación del producto de fondo.
- Eyector de vapor: comprime una parte del vapor de cabeza de la columna a la presión necesaria para calentar el evaporador y un condensador auxiliar licua el vapor restante de la cabeza. Después se condensa el vapor de mezcla y con energía liberada se evapora el producto de fondo.

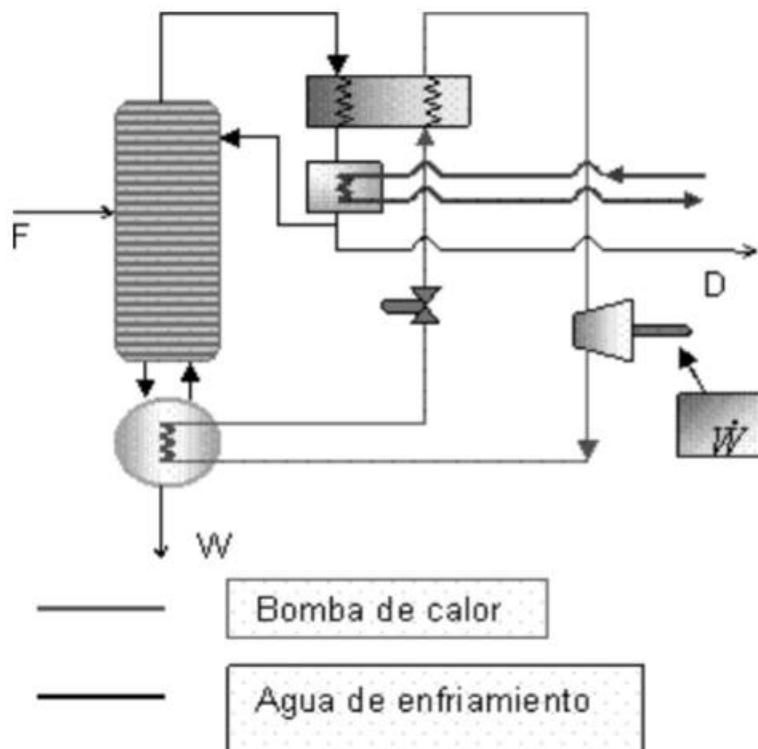


Figura 47: Esquema de columna de destilación con bomba de calor con circuito auxiliar

### 2.4.3. EL SECADO

El secado es la eliminación de agua de un producto sólido por la adición de energía térmica. El secado es normalmente el último paso en la fabricación, y las operaciones de secado pueden llegar a consumir hasta el 18% de la energía total suministrada a la industria. El aire es el medio de secado más común; los ejemplos típicos de secadores que usan aire son lechos rotatorios, lechos fluidos y secadores por pulverización. Otros tipos de secadores, como los secadores de banda, se conocen como secadores directos, ya que dependen del calor transferido directamente desde una superficie.

Los fabricantes de equipos se han centrado en reducir los tiempos de secado, que son principalmente una función del tamaño de partícula.



Figura 48: Secador industrial CICSA

Sin embargo, las empresas pueden mejorar y racionalizar los equipos existentes mediante:

#### *Considerar hacer cambios de proceso en sentido ascendente*

Al reducir el contenido de agua del sólido antes de que esté seco, la carga en la secadora se reducirá. Esto puede ser logrado con cambios de proceso que se realizan aguas arriba o utilizando medios mecánicos que generalmente requieren menos energía que las técnicas basadas en calor.

#### *Controle la operación de secado*

Para maximizar el ahorro de energía, asegúrese de que la operación de secado está bien controlada y mantenida.

*Considere mejoras en el diseño de la secadora*

Hay margen mejoras de eficiencia energética en algunos tipos de secadoras, por ejemplo, optimizando la entrada de aire y patrones de flujo de aire dentro de la secadora. Estas mejoras pueden conducir a una reducción en el uso de aire y, en consecuencia, a la energía utilizada. Contacte con un especialista o con el fabricante para chequear si estos cambios pueden ser efectuados sin afectar a la calidad del secado.

*Recuperar el calor residual*

Puede haber oportunidades con algunos tipos de secadoras para recuperar el calor residual del aire usándolo para precalentar el aire de entrada o proporcionar calefacción en otro lugar de la planta. Esto depende del tipo de fábrica, pero un consultor energético podría evaluar si es factible.

*Otros*

- Maximizar los métodos mecánicos de pre-secado, como la filtración.
- Reducir el uso de aire en los secadores de lecho fluido.
- Desguace de secadores de bandejas y otros equipos obsoletos.
- Mida el rendimiento de los secadores individuales en detalle.
- Identificar cualquier variación en el rendimiento.
- Determine el costo de operación por peso del producto secado



## 2.5. OTROS

### EDIFICIOS INDUSTRIALES

Para la mayoría de las empresas del sector de fabricación de productos químicos, el uso energético en edificios industriales forma una pequeña parte de la energía total uso del sitio, por tanto, es un área importante a mirar porque el potencial de ahorro puede ser alto.

Las oportunidades de ahorro incluyen a los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Iluminación, calderas y materiales de construcción.

Los edificios industriales generalmente requieren grandes áreas para almacenamiento y producción, a menudo con techos altos y altas tasas de ventilación. Por lo general, hay más espacio "social" en áreas tales como oficinas, y en muchos casos los edificios incluyen comedores o cocinas. Con tal rango de actividades y características, los edificios industriales generalmente tienen requisitos energéticos complejos.

#### 2.5.1. CALEFACCIÓN

Mantener un lugar de trabajo a una temperatura confortable es esencial para que una fuerza de trabajo este confortable y puede ser importante para algunos procesos industriales. Para ahorrar dinero, use tiempo simple y controles de temperatura y concienciar al personal sobre los costes de la calefacción.

### TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Control del sistema de calefacción	- Control y configuración de termostatos	1	10%	Bajo
	-Revisión de interruptores de temporizador	1		
	-Concienciar uso eficiente calefacción en la empresa	1		
Uso de calefacción radiante	- Sustitución del calor de convección por radiante	3	3%	Alto
Recuperación de calor	- Uso de calor de compresores para calefacción	2	1%	Medio

Tabla 24: Oportunidades de ahorro en sistemas de calefacción industrial

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

### *Toma el control del sistema de calefacción*

Los sistemas de control de calefacción a veces se ajustan en respuesta a un cambio en las condiciones climáticas o un cambio en el turno. Para administrar un sistema de calefacción de manera efectiva y ahorrar hasta 10% del coste total concéntrese en estas simples medidas:

- Controle los termostatos regularmente y configure las temperaturas recomendadas. Hacer esto salvará 8% por cada 1°C de reducción de temperatura.
- Revise todos los interruptores del temporizador regularmente - asegúrese de que la calefacción está apagada cuando el edificio esté desocupado.
- Aumentar la conciencia - discutir el coste de la calefacción en reuniones y alentar a la gente a no dejar las puertas y las ventanas abiertas cuando la calefacción está encendida. (Ajustar el termostato en su lugar). Considere usar un ventilador de estratificación para recircular el calor a niveles más bajos en caso edificios altos.

### *Calefacción radiante*

Las fábricas y los depósitos pueden perder calor fácilmente debido a techos altos y a los sistemas de ventilación con extractores. Si un sitio tiene calentadores de convección, entonces se debe considerar cambiar al calentamiento radiante.

Este tipo de calefacción reduce las pérdidas de calor y mejora la comodidad el calentamiento es directo a diferencia de los sistemas de calefacción por convección que simplemente calientan el aire. El posicionamiento correcto del calentador es importante, debería estar directamente en línea con la persona / objeto que requiere el calor. Se pueden usar radiadores y tubos aleteados o ventilosconvectores.

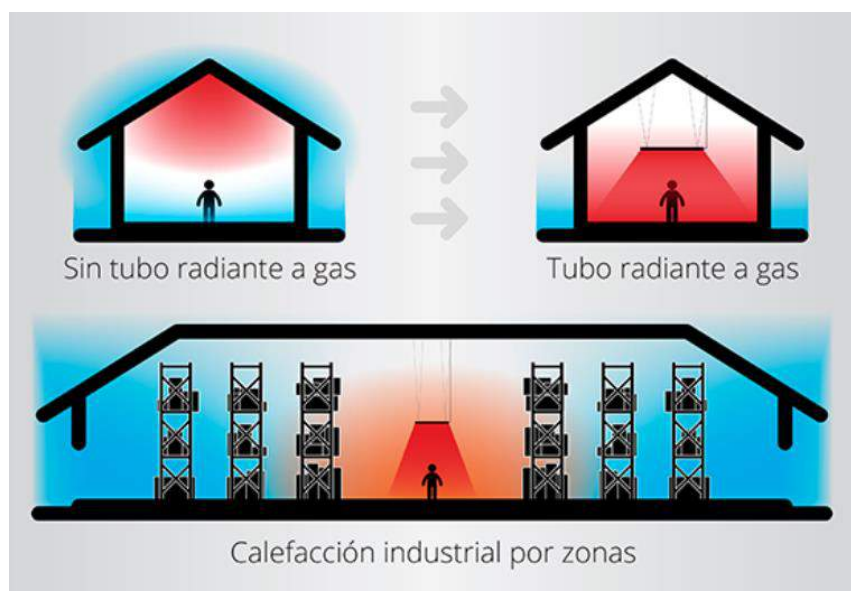


Figura 49: Calefacción radiante por zonas

### *Utilización de recuperación de calor para calefacción*

Como hemos comentado en la parte de compresores, gran parte de su energía se transforma en calor, parte de dicho calor puede ser recuperado utilizando compresores alternativos, compresores de tornillo lubricados o no lubricados. Hay que tener en cuenta que los compresores deberán ser refrigerados por aire o agua para estabilizar su calentamiento.

### 2.5.2. VENTILACIÓN

La ventilación a menudo puede ser excesiva. Si la optimizamos se consigue aumentar la comodidad del personal y además ahorrar dinero. La mayoría de las acciones de ahorro de energía aquí sugeridas cuestan muy poco o nada.

#### TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Tiempos de ventilación	- Apagar momentos innecesarios	1	3%	Bajo
Incluir controles	- Inclusión de temporizadores y sensores	2	3%	Bajo
	- Evitar acción manual	1		
Revisión controles actuales	- Calibración de sensores a punto de funcionamiento óptimo	1	5%	Bajo
	- Sustitución por uso incorrecto o ineficiencia	2		
Localizar ventilación	- Situación del extractor local en área especial	2	2%	Medio
Montar obturadores	- Incluir amortiguadores de retroceso para que el aire no atraviese	2	1%	Corto

Tabla 25: Oportunidades de ahorro en sistemas de ventilación industrial

#### *Apague la ventilación innecesaria*

Verifique que los ventiladores de extracción locales no se queden en funcionamiento de manera innecesaria ya sea fuera del horario de producción o durante los largos descansos entre turnos. El movimiento de aire se puede detectar de manera muy simple usando tiras delgadas de papel de seda o con una burbuja infantil fabricante.

#### *Considere incluir controles*

Los controles automáticos pueden situarse en forma de temporizadores, sensores o controles vinculados a la maquinaria (controles inter-bloqueados). Usando controles automáticos para reemplazar la acción manual conseguimos ahorros de energía significativos.

#### *Revisión de control o sustitución*

El punto de funcionamiento establecido y la calibración de los sensores afectan a la eficiencia global del sistema de aire acondicionado. Cuando el equipo trabaja innecesariamente debido a un incorrecto ajuste de los parámetros o debido a un sensor mal calibrado, crecen los costes de operación. Para la sustitución se pueden usar sensores de ocupación, termostáticos o de dióxido de carbono.

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

*Localiza la ventilación*

Ponga un extractor local en la planta que necesita ventilación en un área especial para introducir aire fresco no tratado. Esto reduce los costes al prevenir que el aire calentado o enfriado salga de las áreas circundantes.

*Montar y mantener los obturadores*

Todos los ventiladores deben tener contraventanas o amortiguadores de retroceso para evitar que el aire los atraviese cuando no estén en uso. Coloque obturadores o amortiguadores y asegúrese de que se mantengan limpios y en buen estado de funcionamiento.

**2.5.3. AIRE ACONDICIONADO**

El aire acondicionado los edificios consigue que se use aproximadamente el doble de energía que de forma natural se usaría en edificios ventilados: esta energía se usa para acondicionar el aire y para impulsar las bombas y los ventiladores que circulan a lo largo el edificio.

En los últimos años ha habido un progreso significativo en la aplicación de técnicas que reducen la dependencia con el aire acondicionado convencional y avanzan hacia la ventilación pasiva, la operación en modo mixto y sistemas de enfriamiento de baja energía.

Todas las medidas aquí indicadas son de inversión baja o nula y dependen más bien del interés que se tome por aplicarlas como podemos ver tabla resumen con las oportunidades de ahorro, los porcentajes de ahorro también dependerán del uso específico que se le dé al aire acondicionado en cada sitio.

**TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS**

ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO	MEDIDAS DE AHORRO	Nivel inversión	% Ahorro	Payback
Necesidad de A.C.	- Alternativas como ventilación y minimización de ganancia de calor	1	-	Bajo
	- Incluir películas solares o persianas	2		
Control	- Utilizar configuración óptima	1	-	Bajo
Temperaturas de encendido	- Crear una banda de temperaturas de confort	1	10%	Bajo
	- No trabajar calefacción y A.C simultáneo	1		
Control de humedad	- Mantener separados procesos de alta y baja humedad	2	-	Medio
Aprovechar refrigeración gratuita	- Aprovechar temperaturas externas (si es posible)	1	-	Medio

Tabla 26: Oportunidades de ahorro en aire acondicionado

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

*Pregunte si se necesita aire acondicionado*

El aire acondicionado puede ser necesario si los procesos requieren una temperatura constante o cierta humedad para trabajar. Sin embargo, si se usa aire acondicionado por simple comodidad, puede haber opciones alternativas. Investigando la ventilación adecuada y la minimización de la ganancia de calor se puede conseguir que el aire acondicionado sea innecesario.

Existen formas de reducir la temperatura, por ejemplo, limitar el tiempo en que el equipo está encendido. Desconecte la iluminación si hay suficiente luz del día y use películas solares o persianas para cortar la luz solar directa que podría estar causando el sobrecalentamiento.

Abra las ventanas y puertas para reducir aún más el sobrecalentamiento.

*Control: temperaturas y tiempos*

La configuración de las unidades de aire acondicionado se puede modificar fácilmente. Trabajar en una configuración no óptima es común, debemos controlar la temperatura y los tiempos regularmente. Mire los patrones de funcionamiento del aire acondicionado relativos a las condiciones externas. Las temperaturas deben ser cómodas y apropiadas según los procesos, pero intentando que se mantengan al mínimo siempre que sea posible.

*Revise las temperaturas de encendido*

Asegúrese que el aire acondicionado no esté configurado para encenderse hasta que el ambiente sea bastante cálido: una cifra habitual es 24°C. Establezca un espacio o 'banda' entre temperaturas de calefacción y aire acondicionado temperaturas (alrededor de 5°C), de modo que la calefacción no estará nunca operando al mismo tiempo que el aire acondicionado. Esto mejora la comodidad del personal, reduce los costos operativos y reduce el desgaste de los sistemas.

*Detenga el control de humedad relativa (si es posible)*

Controlar la humedad relativa consume mucha energía y se pueden obtener grandes ahorros al eliminar este paso. Sin embargo, algunos procesos requieren un cierto nivel de humedad y el mínimo y máximo de niveles de humedad deben mantenerse lo más separados.

*Aproveche la refrigeración gratuita*

Investigar formas que reduzcan la temperatura interna sin coste, como el enfriamiento nocturno. Esto es especialmente efectivo donde las temperaturas externas son significativamente más frías que la temperatura interna requeridas y la operación puede ser simplemente ventilar el edificio con aire fresco.

### 2.5.4. ILUMINACIÓN

La mayoría de las compañías pasan poco tiempo considerando como los sitios están iluminados. La iluminación puede ser un buen punto de partida para reducir los costos de energía debido a su simpleza y su asequibilidad.

#### TABLAS RESUMEN DE INVERSIÓN Y MEDIDAS

<i>ÁREAS CON POTENCIALES DE AHORRO</i>	<i>MEDIDAS DE AHORRO</i>	<i>Nivel inversión</i>	<i>% Ahorro</i>	<i>Payback</i>
Desconectar luces	- Alientar a las personas a apagar las luces	1	5-15%	Bajo
	- Etiquetado de interruptores	1		
	- Asegurar el apagado cuando se cierra fábrica	1		
	- Verificar si las luces del techo son usadas de forma efectiva	1		
	- Asegurar que las persianas están abiertas	1		
Reemplazar lámparas ineficientes	- Lámparas fluorescentes compactas	2	50%	Media
	- Bombillas de bajo consumo	2	10%	
	- Bombillas LED	2	30-80%	
	- Bombillas OLED	3	5%	
Cambiar tarifa eléctrica	- Realizar comparativa de precios respecto al mercado eléctrico español	1	5-15%	-

Tabla 27: Oportunidades de ahorro en iluminación

#### *Desconecte las luces*

Las luces encendidas por la mañana a menudo se dejan encendidas todo el día incluso si no son necesarias. Aquí hay algunas ideas simples para asegurar que las luces en áreas desocupadas estén apagadas, potencialmente ahorrando un 15% en coste de iluminación.

- Aliente a las personas a apagar las luces: use carteles y reuniones de equipo para aumentar la conciencia de la energía y motivar personas para apagar las luces.
- Asegúrese de que todos sepan dónde están los interruptores de luz etiquete los interruptores de luz y asegúrese de que todos lo sepan qué interruptor controla su luz.
- Asegúrese de que las luces estén apagadas cuando la fábrica está cerrada, realice una encuesta para averiguar si las luces se apagan entre horas. Aconseje al personal de limpieza y seguridad apagar luces en

Definimos nivel de inversión en 1,2,3 según el intervalo sea <4.000€, 4.000-25.000€ y >25.000€

Definimos Payback en bajo, medio, alto según <2 años, 2-6 años, >6 años

áreas desocupadas. Aprovecha la luz natural, la mayoría de las personas prefiere trabajar con luz natural y, por lo tanto, el interior la iluminación se usará menos cuando la luz del día sea adecuada.

- Verifique con qué frecuencia y como de bien se limpian las ventanas, limpie con más frecuencia si es necesario.
- Verifique que las luces de techo estén siendo usadas efectivamente.
- Asegúrate que las persianas estén abiertas durante el día, excepto cuando sea necesario para reducir el resplandor o la ganancia solar. Mueva cualquier objeto que esté obstruyendo ventanas. Revisa la ubicación de las personas y si es posible muévalos más cerca de la luz natural.

### *Reemplazar lámparas ineficientes*

Reemplace las lámparas con equivalentes más eficientes. Por ejemplo, reemplace cualquier fluorescente de 38 mm de diámetro (T12) tubos con tubos más delgados de 26 mm de diámetro (T8) y especifique todos los tubos nuevos tienen un recubrimiento de "tri-fósforo". Este ejercicio permite ahorrar el 10% del consumo de energía y mejorar la calidad de iluminación durante toda la vida del tubo.

*Nota: tubos delgados no funcionará en algunos accesorios más antiguos, así que compre un tubo nuevo para verificar que funcione antes de invertir en la compra a granel.*

### Iluminación Eficiente:

**Lámparas fluorescentes compactas:** ofrecen una eficacia luminosa superior y una vida útil más larga que las antiguas bombillas incandescentes, permitiendo un ahorro de energía de hasta el 70%.

**Bombillas de bajo consumo:** tubos de vidrio revestidos interiormente con diversas sustancias químicas que contienen un gas inerte, generalmente neón o argón. Con una vida media de 7.000 horas, una lámpara fluorescente compacta (CFL) puede ahorrar 434 kWh de electricidad, lo que significa 256 toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por bombilla. Cada año se fabrican casi 3.000 millones de CFL en el mundo.

**Bombillas LED:** presentes en nuestra vida cotidiana, ya que tienen una vida útil de unas 70.000 horas, por lo que pueden durar ¡hasta 50 años! Transforman hasta el 98% de su energía en luz y sólo un 2% en calor. La química las ha hecho posibles y se fabrican con arseniuro de galio, arseniuro fosfuro de galio, nitruro de galio, seleniuro de zinc o carburo de silicio.

**OLED:** con diminutos diodos emisores de luz orgánicos que contienen películas de plástico delgadas pueden usarse en pantallas planas de TV, ordenadores y PDA

<i>Tipo de bombilla</i>	<i>Potencia bombilla</i>	<i>Horas de uso</i>	<i>Consumo año</i>	<i>Precio kw</i>	<i>Gasto económico</i>	<i>Ahorro</i>
Incandescente	100 W	8	292 kW	0,16	46,72 €	0%
Bombilla LED	11 W	8	32,12 kW	0,16	5,13 €	89%
Bajo consumo	30 W	8	87,6 kW	0,16	14,01 €	0%
Bombilla LED	9 W	8	17,5 kW	0,16	2,80 €	80%
Tubo fluorescente	30 W	8	87,6 kW	0,16	14,01 €	0%
Tubo LED	9 W	8	17,5 kW	0,16	2,80 €	80%

Tabla 28: Ahorro anual al sustituir una bombilla convencional por LED

### 2.5.5. TEJIDO DE CONSTRUCCIÓN

Muchas industrias manufactureras no ahorran dinero para mantener su tejido de construcción, es decir, las paredes, puertas, ventanas y techos de sus instalaciones. Invertir en el mantenimiento y el aislamiento es casi siempre rentables. También puede aumentar el valor de su propiedad y, proporcionar un entorno de trabajo más cómodo, impulsar la moral del personal.

#### *Detener pérdidas de calor*

Cuando no esté en uso, mantenga las puertas de la fábrica cerradas para evitar la pérdida de calor. Separar oficinas o espacios de trabajo con calefacción, sin calefacción y áreas de almacenamiento ayuda a reducir las pérdidas de calor y mejorar la comodidad.

Una cortina de aire caliente, una cortina de PVC o una puerta abatible son separadores adecuados. Repare las ventanas rotas o rajadas tan pronto como sea posible para evitar infiltraciones.

#### *Separare el calor de los espacios fríos*

Para puertas que se usan con frecuencia, considere instalar una de los siguientes:

- Cerraduras de aire
- Cortinas de PVC
- Cortinas de aire caliente
- Puertas motorizadas de alta velocidad.

Las puertas deben estar selladas al tejido del edificio para evitar corrientes de aire y también debe haber sellos entre la puerta y el marco. Evite usar puertas en el lado opuesto de la fábrica al mismo tiempo porque esto creará corrientes.

#### *Aislar techos y paredes*

La mejora del aislamiento del techo y las paredes es la medida más rentable que se puede hacer en el tejido de construcción.

Si la estructura lo permite, asegúrese de que haya al menos 200 mm de aislamiento. Techos hechos de una sola capa, asbesto corrugado o hierro corrugado puede tienen pérdidas de calor 15 veces mayores que las de un moderno y bien aislado techo. Los métodos para aislar estos tipos de techo incluyen revestimiento, sobre-fumigación y rociado.

Considere instalar acristalamiento secundario de policarbonato bajo las luces del techo: puede reducir las pérdidas de calor hasta 50% y elimina las corrientes de aire. Aísle las paredes de la cavidad: puede reducir la pérdida de calor hasta 67%.



## 2.6. CASOS PRÁCTICOS

### 1. Ajuste de la combustión de una caldera de gas natural.

Para ver el ahorro por ajuste de combustión habrá que calcular el rendimiento de la caldera antes ( $\eta_{cf}$ ) y después ( $\eta_{ci}$ ) del ajuste de combustión.

El ahorro será:

$$A = \frac{\eta_{cf} - \eta_{ci}}{\eta_{cf}}$$

Si la caldera consume C unidades de combustible al año, el ahorro anual será: Ax C

Las actuaciones a realizar para mejorar la combustión pueden ser:

- A) Ajustar la combustión de forma manual.
- B) Sustituir los quemadores
- C) Instalar microprocesadores de combustión, controlando:

$O_2$

$O_2 + CO$

$O_2 + CO + Opacidad$

A continuación, vamos a ver un ejemplo del tipo A) ajuste manual ya que tiene una mejora notable de eficiencia y el coste de inversión es bajo.

*Una caldera de vapor genera 7,5 t/h de vapor a 8kg/cm<sup>2</sup> y consumo 5.000.000 NM<sup>2</sup>/año de gas natural se ha obtenido el siguiente resultado tras el análisis de la combustión:*

$O_2=8\%$

$CO_2=7,4\%$

$CO=0ppm$

$T_{HUMOS}=200\text{ }^\circ C$

Con la tabla de entalpía de gases para gas natural <sup>18</sup>se obtiene:

$21,7kg/ Nm^3$

$52,4kcal/kg$

Por lo tanto, el calor perdido en los gases de combustión es:

$$Q_H=21,7 \times 52,4 = 1.137kcal/ Nm^3$$

Este calor supone un 12,6% del calor aportado por el combustible (PCI gas natural=9.000 kcal/ Nm<sup>3</sup>)

El resto de pérdidas se estiman en un 5%. Por lo que el rendimiento de la caldera es:

$$\eta = 1 - 0,126 - 0,05 = 0,824 = \mathbf{82,4\%}$$

<sup>18</sup> Se puede acceder a esta información consultando las tablas

Se realiza un ajuste manual de la combustión y se obtiene el siguiente resultado:

$$O_2=2,5\%$$

$$CO_2=10,5\%$$

$$T_{HUMOS}=200\text{ }^\circ\text{C}$$

Del mismo modo se calculan las pérdidas por los gases de la combustión y las pérdidas por inquemados:

$$Q_H=9,5\%$$

$$\text{Resto}=5,0\%$$

Por lo que el rendimiento queda:

$$\eta = 1 - 0,095 - 0,05 = 0,855 = \mathbf{85,5\%}$$

El ahorro de combustible será:

$$A = \frac{85,5 - 82,4}{85,5} \cdot 100 = \mathbf{3,63\%}$$

Que supondrá un ahorro de:

$$\text{Ahorro energético} = \mathbf{2.110.465\text{ KWh (PCS)/año}}$$

Para un precio de gas natural de 2,6€/Kwh (PCS) se obtiene un ahorro económico de:

$$\text{Ahorro económico} = \mathbf{54.873\text{ €/año}}$$

## 2. Ejemplo: Cogeneración con turbina de vapor a contrapresión.

Para instalaciones que precisen vapor a diferentes niveles térmicos, se puede pensar en un sistema de cogeneración con turbina de vapor a contrapresión.

En una caldera de vapor se genera vapor a alta presión. Parte de este vapor es enviado a proceso y otra parte a una turbina de vapor. De esta turbina se pueden hacer extracciones a las presiones que se requiera que está el resto del vapor del proceso.

*Una instalación que funciona 7.000 j/año requiere 5t/h de vapor a 15kg/cm<sup>3</sup>, 3t/h a 6kg/cm<sup>2</sup> y 3t/h a 3 kg/cm<sup>2</sup>.*

*El vapor proviene de una caldera de vapor de gas natural a 15 kg/cm<sup>2</sup> se lamina para alcanzar las presiones de trabajo requeridas.*

*Se propone instalar una turbina de vapor a contrapresión en la que se realizarán extracciones a las presiones de trabajo requeridas. El rendimiento mecánico de la turbina es del 97,5%.*

La instalación quedaría del siguiente modo:

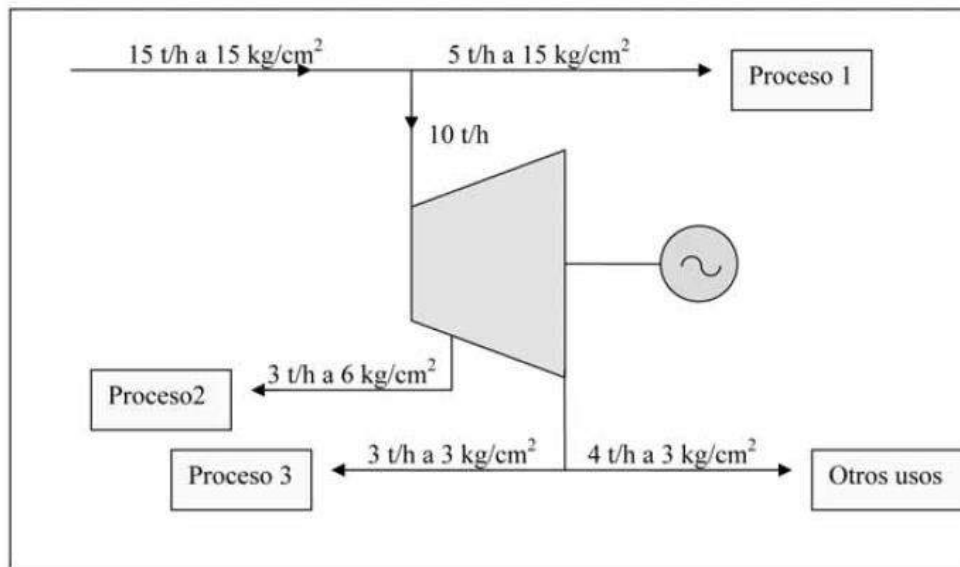


Figura 45: Esquema turbina de vapor a contrapresión

La potencia aprovechada en la turbina, suponiendo un rendimiento isentrópico de 0,65 será:

$$P = \frac{3.000 \frac{kg}{h} (666,8 - 634,5) \frac{kcal}{kg} + 7.000 \frac{kg}{h} (666,8 - 628,35) \frac{kcal}{kg}}{860 \frac{kcal}{kWh}} \cdot 0,975 = 415 \text{ kW}$$

Esta potencia podrá ser empleada en, por ejemplo, la generación de energía eléctrica. Si el rendimiento del alternador es del 96% la generación eléctrica será.

$$E.E = 415 \text{ kW} \cdot 7.000 \frac{h}{año} \cdot 0,96 = 2.788.800 \text{ kWh/año}$$

### 3. Ejemplo: Aislamiento de tuberías y válvulas.

En una caldera de vapor de gas natural que funciona 7.200h/año existen 8m de tubo de 70mm de diámetro y 4 válvulas sin aislar. La temperatura del exterior de los tubos es de 120 C y la temperatura ambiente es de 20C. El rendimiento de la caldera es del 85%.

Se calculan las pérdidas de calor en tubería y válvulas sin aislar a partir del ábaco de Wrede<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> Incluido en tablas de capítulo correspondiente

$$Q_{tubos} = 3\text{m} \cdot 280 \text{ kcal/m h} = \mathbf{840 \text{ kcal/h}}$$

$$Q_{válvulas} = 4 \cdot (1,8 \text{ m} \cdot 280 \text{ kcal/m h}) = \mathbf{2.016 \text{ kcal/h}}$$

$$Q_{Total} = 2.856 \text{ kcal/h}$$

Se procede a colocar un aislamiento de 25mm en las tuberías y en las válvulas de forma que el calor perdido en ellos será el calculado en los ábacos de los suministradores (se va a suponer que las pérdidas dadas por el suministrador son de 10 kcal/mh):

$$Q_{tubos} = 3\text{m} \cdot 10 \text{ kcal/m h} = \mathbf{30 \text{ kcal/h}}$$

$$Q_{válvulas} = 4 \cdot (1,8 \text{ m} \cdot 10 \text{ kcal/m h}) = \mathbf{72 \text{ kcal/h}}$$

$$Q_{Total} = 102 \text{ kcal/h}$$

El ahorro de combustible será:

$$A = \frac{(2.856 - 102) \frac{\text{kcal}}{\text{h}} \cdot 7.200 \frac{\text{h}}{\text{año}}}{0,85 \cdot 9.000 \frac{\text{kcal}}{\text{Nm}^3}} = \mathbf{2.592 \text{ Nm}^3 \text{ año}}$$

Que supondrá un ahorro de:

$$\text{Ahorro energético} = \mathbf{30.140 \text{ kWh (PCS)/año}}$$

Par un precio de gas natural de 2,5 c€/Kwh (PCS) se tiene un ahorro económico de:

**Ahorro económico 754€/año****4. Ejemplo: Expansión del condensado en un tanque flash.**

Esta medida permite emplear el condensado de una utilización de vapor a alta presión para producir más vapor

a una presión inferior que podrá ser utilizado en otro punto del proceso productivo.

Se trata de expandir el condensado a alta presión en un tanque para generar vapor y nuevos condensados a una presión inferior. Estos nuevos condensados pueden ser expansionados nuevamente en otro tanque y así sucesivamente.

En los sucesivos expansionados habrá que llegar a un acuerdo entre el ahorro producido por la expansión y el coste de la instalación de nuevos tanques.

Para obtener el ahorro energético se realiza un balance de masa y calor en el tanque de expansión.

El ahorro producido por el calor recuperado del condensado será:

$$A = \frac{Q \left[ \frac{kcal}{h} \right]}{\eta \times PCI \left[ \frac{kcal}{Ud. combustible} \right]}$$

Donde:

Q= calor recuperado del condensado

$\eta$ = rendimiento de la caldera

PCI= poder calorífico inferior del combustible

*En una instalación que emplea vapor generado en una caldera de gas natural se tiene un caudal de condensados 450kg/h a 15kg/cm<sup>2</sup>. Se quiere expandir este condensado para producir vapor flash a 4 kg/cm<sup>2</sup>.*

La producción de vapor será:

$$P_v = \frac{450 \frac{kg}{h} \cdot (200,6 - 143,7) \frac{kcal}{kg}}{(653,4 - 143,7) \frac{kcal}{kg}} = 50,23 \text{ kg/h}$$

Por lo tanto el calor recuperado será:

$$Q = 653,4 \text{ Kcal/kg} \times 50,23 = 32.824 \text{ kcal/h}$$

Si la caldera funciona durante 7.500 h/año, con un rendimiento medio del 85%, el ahorro de combustible será:

$$A = \frac{32.824 \frac{kcal}{h} \cdot 7.500 \frac{h}{año}}{0,85 \cdot 9.000 \frac{kcal}{Nm^3}} = 32.180 \text{ Nm}^3 \text{ año}$$

Que supondrá un ahorro de:

$$\text{Ahorro energético} = 374.186 \text{ kwh (PCS)/año}$$

Para un precio de gas natural de 2,5c€/kWh(PCS) se tiene un ahorro económico de:

**Ahorro económico = 9.355 €/año**

### 5. Ejemplo: Recuperación de calor de un sistema frigorífico.

*Una instalación necesita 25t/h de agua caliente a 60C en su proceso productivo. Esta agua se obtiene mediante el calentamiento con vapor en un intercambiador.*

*En otro punto de la empresa, se tiene una máquina frigorífica por cuyo condensador circula agua con las siguientes características:*

*Caudal: 12 t/h*

*Temperatura de entrada (fría): 18 °C*

*Temperatura de salida(caliente) 60 °C*

*Se ha pensado aprovechar esta agua caliente en el proceso productivo, lo que evitaría parte de la generación del vapor destinado al calentamiento del agua.*

El hecho de aprovechar el agua caliente del condensador reduce la necesidad de vapor en:

$$12.000 \frac{kg}{h} (60 \cdot 18) \frac{kcal}{kg} = 504.000 \text{ kcal/kg}$$

Se estima un rendimiento del 83% en la generación y transporte del vapor por lo que se tendrá un ahorro de:

$$\text{Ahorro} = \frac{504.000}{0,83} = 607.229 \text{ kcal/kg}$$

La instalación funciona durante 3.500 horas al año, de modo que se tiene un ahorro energético de:

Ahorro energético = 2.744.000 Kwh (PCS)/año

Para un precio del gas natural de 2,3c€/kWh, el ahorro económico es de:

**Ahorro económico= 63.112€/año**

### 6. Ejemplo: Emplear motores de dos velocidades para variar el caudal de una bomba o ventiladores cuando hay dos regímenes de carga.

Este tipo de motores son de aplicación cuando los flujos a regular tienen un nivel de caudal a plena carga (100%) y otro nivel de caudal mitad (50%). En este caso la inversión es mucho menor que en el caso anterior (variadores de frecuencia) pues se limita a un motor de dos velocidades y a un contactor adicional.

*En una instalación se tiene una bomba centrífuga con caudal nominal de 0,1 m<sup>3</sup>/h que trabaja según el siguiente régimen de funcionamiento:*

<i>Horas de funcionamiento</i>	<i>% Caudal</i>
2.500	100
3.500	50

La bomba está accionada por un motor de una única velocidad de 132 kW a 1.500 r.p.m y la regulación del caudal se realiza mediante estrangulamiento.

Se propone sustituir este motor de accionamiento de la bomba por otro de dos velocidades de 132 kW a 1.500 r.p.m. y 90 kW a 750 r.p.m.

En el siguiente cuadro se pueden comparar las dos situaciones planteadas:

	<i>Estrangulamiento</i>		<i>Motor de dos velocidades</i>	
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	0,1	0,05	0,1	0,05
Presión de la bomba (m.c.a)	90	112,5	90	22,5
Velocidad (%)	100	100	100	50
Rendimiento de la bomba (%)	80	60	80	80
Potencia para accionar la bomba (kW)	110,3	91,9	110,3	13,8
Rendimiento del motor (%)	91,5	90,8	89	55
Potencia absorbida por el motor (kW)	120,5	101,2	123,9	25,05
Tiempo de servicio (h/año)	2.500	3.500	2.500	3.500
Energía absorbida por el motor (kWh/año)	301.325	354.270	309.800	87.675
Energía total absorbida (kWh/año)	655.595		397.475	

Tabla 29: Tabla comparativa de motor de dos velocidades y motor de accionamiento

El ahorro energético producido por la sustitución del motor de accionamiento por otro de dos velocidades es:

$$\text{Ahorro energético} = 655.595 - 397.475 = 258.120 \text{ kWh/año}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico es:

$$\text{Ahorro económico} = 20.650 \text{ €/año}$$

## 7. Ejemplo de compresión

### Evitar que los compresores trabajen en vacío

El trabajo de los compresores en vacío, supone unos consumos de energía innecesarios evaluables entre un 20-25%, según la potencia de los equipos. Por otra parte, el trabajar en vacío supone un mayor consumo de energía reactiva, con la consiguiente incidencia en el costo del kWh a través de las penalizaciones en la facturación o en las inversiones necesarias en baterías de condensadores.

Por lo tanto, cabe la posibilidad de analizar una posible desconexión de estos equipos cuando trabajen en vacío, en función del número de arranques y paradas que tendría que soportar el motor.

*Una planta industrial dispone de cuatro compresores de aire de 250 kW de potencia cada uno. Estos compresores tienen el siguiente régimen de trabajo:*

- A plena carga: 7.500 h/año
- En vacío (20% de carga): 1.760 h/año
- 

De modo que el consumo eléctrico en las horas en las que los compresores trabajan en vacío es:

$$\text{Consumo E.E.} = 4 \text{ comp} \cdot 250 \frac{\text{kW}}{\text{comp}} \cdot \frac{20}{100} \cdot 1.760 \frac{\text{h}}{\text{año}} = \mathbf{352.000 \text{ kWh/año}}$$

Por lo tanto, el ahorro energético debido a la desconexión de los compresores trabajando en vacío es el equivalente al consumo de los mismos durante esas horas:

$$\text{Ahorro energético} = 352.000 \text{ kWh/año}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 8 c€/kWh el ahorro económico será:

$$\text{Ahorro económico} = \mathbf{28.160\text{€/año}}$$

## 8. Ejemplo: mantener la presión mínima en la red de aire comprimido

En ocasiones, la red de aire comprimido contiene el aire a una presión superior a la necesaria en proceso. Este aumento de la presión se traduce en un consumo innecesario de energía. Por ello, hay que tratar que la presión de la red de aire comprimido sea lo más cercana posible a la de proceso.

*Una planta industrial posee una red de aire comprimido a 7,8 bares. Este aire abastece una instalación en la que la presión del aire requerida es de 7 bares. Por ello, al llegar al punto de utilización, el aire se lamina hasta la presión requerida.*

*El consumo anual de los compresores es de 4.000.000 kWh/año*

Se ha decidido reducir la presión de la red de aire comprimido hasta 7,1 bares de modo que, atendiendo a la figura se obtiene un ahorro del 4%, es decir:

$$\text{Ahorro Energético} = 4.000.000 \cdot \frac{4}{100} = 160.000 \text{ kWh/año}$$



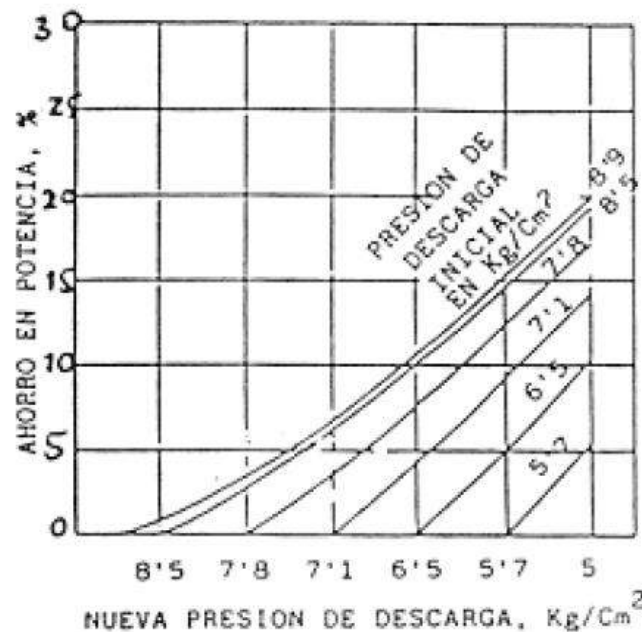


Figura 50: Gráfica ahorro de potencia por presión de descarga

Para un precio de energía eléctrica de 7,8c€/kwh, el ahorro económico es:

**Ahorro económico= 12.480€/año**

## 9. Ejemplo para iluminación eficiente

### 1. Ajustar la potencia de iluminación adecuada

Un local industrial está equipado con un sistema de iluminación compuesto por 500 lámparas fluorescentes de 40 W cada una. Este sistema funciona una media de 3.500 horas al año.

El consumo de energía eléctrica es de:

$$500 \text{ lámpara} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{lámpara}} \cdot 3.500 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 70.000 \text{ kWh/año}$$

Debido a un cambio en la gestión de la empresa, este local va a ser utilizado en adelante para la práctica de otra actividad que, según un estudio realizado, requiere un menor nivel de iluminación. Dicho estudio establece que con una tercera parte de las lámparas sería suficiente para alcanzar el nivel de iluminación requerido para la nueva actividad. Está previsto que esta actividad se lleve a cabo durante 4.800 horas al año.

El consumo eléctrico una vez adoptada la medida de reducir el número de lámparas es de:

$$\frac{1}{3} \cdot 500 \text{ lámpara} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{lámpara}} \cdot 4.800 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 32.000 \text{ kWh/año}$$

De modo que el ahorro de energía eléctrica obtenido a través de esta medida es de:

$$\text{Ahorro energético} = 70.000 - 32.000 = 38.000 \text{ kWh/año}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8c€/kWh, se tendría un ahorro económico:

$$\text{Ahorro económico} = 2.964\text{€}/\text{año}$$

## 2. Sustituir las lámparas de bajo rendimiento luminoso, por otras de mayor eficiencia

Antes de proceder a esta sustitución debe considerarse el régimen de funcionamiento de las mismas, número de horas, encendidos y apagados, etc., para poder evaluar el periodo de amortización de esta sustitución.

*En un taller se utiliza un sistema de iluminación compuesto por 300 lámparas de incandescencia de 450 W unitarios. La empresa desarrolla su labor de taller durante 2.000 horas al año, por lo que tiene un consumo eléctrico de:*

$$300 \text{ lámpara} \cdot 0,45 \frac{\text{kW}}{\text{lámpara}} \cdot 2.000 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 270.000 \text{ kWh/año}$$

Tras un estudio se ha determinado que, para el tipo de trabajo desarrollado en el taller, sería más adecuado el uso de lámparas fluorescentes, ya que ofrecen un nivel de iluminación mejor. Se procede a la sustitución de las lámparas de descarga por lámparas fluorescentes de 3 tubos con una potencia de 40 W por tubo, manteniendo intactos los puntos de luz. En esta nueva situación se tendrá un consumo eléctrico de:

$$300 \text{ pto de luz} \cdot 3 \frac{\text{tubo}}{\text{pto de luz}} \cdot 0,04 \frac{\text{kW}}{\text{tubo}} \cdot 2.000 \frac{\text{h}}{\text{año}} = 72.000 \text{ kWh/año}$$

El ahorro energético obtiene por la sustitución de las lámparas es de:

$$\text{Ahorro energético} = 270.000 - 72.000 = 198.000 \text{ kWh/año}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kwh, se tendrá un ahorro económico:

$$\text{Ahorro económico} = 15.444\text{€}/\text{año}$$

## 3. Emplear un número de interruptores adecuado

El hecho de tener un número de interruptores adecuado evita el consumo innecesario de energía eléctrica ya que puede darse el caso de que se esté iluminada toda una estancia y que realmente sólo sea necesaria la iluminación en una parte de la misma.

*Una nave industrial alberga tres líneas de proceso destinadas a la fabricación de un mismo producto. Las dos primeras trabajan un único turno de 8 horas diarias durante 320 días al año, mientras que la tercera trabaja dos turnos de 8 horas durante los mismos días. Esta última línea ocupa un 25% de la superficie total de la planta.*

*El sistema de iluminación de la nave está compuesto por 500 tubos fluorescentes de 40 W cada uno y se accionan mediante un único interruptor.*

*En esta situación se tiene que en el segundo turno todas las lámparas están encendidas aun cuando únicamente se está trabajando en un 25% de la superficie de la nave.*

El consumo de energía eléctrica debida a la iluminación en la situación actual es de:

$$500 \text{ tubo} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{tubo}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 320 \frac{\text{día}}{\text{año}} = \mathbf{51.200 \text{ kWh/año}}$$

Se procede a la instalación de varios interruptores, de modo que todas las lámparas de cada línea de trabajo se activan mediante interruptores independientes. Tras esta medida, el ahorro eléctrico es:

$$500 \text{ tubo} \cdot 0,040 \frac{\text{kW}}{\text{tubo}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 320 \frac{\text{día}}{\text{año}} \cdot \frac{25}{100} = \mathbf{12.800 \text{ kWh/año}}$$

Para un precio de la energía eléctrica de 7,8 c€/kwh se tendrá un ahorro económico:

$$\mathbf{\text{Ahorro económico} = 2.995 \text{ €/año}}$$

### 10. Ejemplo de proceso de evaporación múltiple

Concentrar 30.000 kg/h con un 3% de peso de sólidos inicial en una disolución de NaOH y con objetivo de una concentración final de 48% de peso de sólidos.

Coste de un efecto (es decir la inclusión de un evaporador extra) es de: 400.000 € incluyendo bombeo y accesorios.

Costes fijos (amortización + mantenimiento) es: 30% coste anual de inversión.

Coste de vapor vivo = 20 € por tonelada.

Evaporador genera 0,9 x n° efectos de kg de vapor vivo.

El tiempo de operación es de 24h/día y 300 días/año.

Los costes de mano de obra son independientes del n° de efectos.

Calcular:

- El n° de efectos que deberían utilizarse de forma óptima
- Coste anual del vapor vivo.

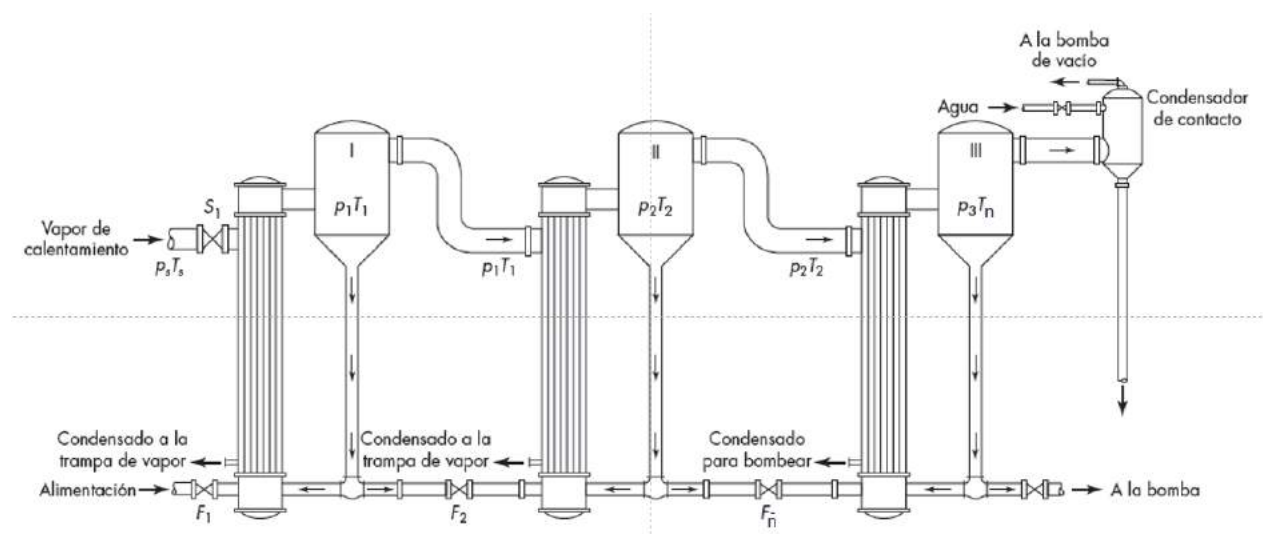


Figura 51: Esquema de funcionamiento de evaporadores de n efectos

Tenemos que

$$\sum V_i = 0,9 \cdot N \cdot S \text{ [kg de vapor vivo]}$$

El balance global de materia viene dado por

$$L_o = L_N + \sum V_i = L_N + 0,9 \cdot N \cdot S$$

Balance global de soluto

$$L_o x_o = L_N x_N$$

Siendo

$$L_N = \frac{30.000 \cdot 0,03}{0,48} = 1875 \text{ kg/h}$$

$$\sum V_i = L_o - L_N = 30.000 - 1875 = 28125 \text{ kg/h}$$

Entonces de vapor vivo(S) tendremos:

$$S = \frac{28125}{0,9N} = \frac{31250}{N}$$

La inversión = 400.000 N

La amortización = 0,3I = 120.000 N

$$C_{\text{vapor}} = S \cdot C_{\text{unit}} \cdot \text{h/año} = \frac{31250}{N} \cdot \frac{20 \text{ t}}{1.000 \text{ kg}} \cdot 300 \text{ d/año} \cdot 24 \text{ h/d} = \frac{4.500.000}{N}$$

$C_{\text{mano obra}} = k$

$$C_{\text{total}} = 120.000 N + \frac{4.500.000}{N} + k$$

Entonces

$$\frac{dC_{\text{total}}}{dN} = 0$$

$$120.000 - \frac{4.500.000}{N^2} = 0$$

Y por tanto **N= 6 efectos.**

El coste total será  **$C_{\text{total}} = 750.000 \text{ €}$**

## CONCLUSIONES

En este proyecto se ofrece una guía teórica sobre las principales medidas de eficiencia energética dentro de la industria química con el objetivo de orientar a un lector ya sea académico o responsable de un proyecto energético empresarial los conocimientos iniciales para su abordamiento.

El trabajo se inicia con una presentación del mercado de la industria química y sus tendencias sociales, económicas y políticas. Tras un breve estudio de los datos podemos concluir que el sector químico industrial es y ha sido de los más importantes a nivel económico y que invertir en él es rentable, que sigue en crecimiento continuo y que crea empleo de calidad.

Por otro lado, el modelo productivo actual deja de ser válido por su incapacidad para abastecer la creciente demanda debido al crecimiento masivo de la población y la contaminación que genera llegar a dichos niveles de producción, por tanto, a través de ciertos tratados internacionales se busca un cambio que permita seguir produciendo a un menor ritmo de polución y gasto ecológico, es decir de forma más eficiente energéticamente.

Para conseguir este objetivo la solución que se propone desde este trabajo es la aplicación de medidas de ahorro energético y además justificamos no sólo por lo explicado anteriormente de la necesidad de optimizar recursos energéticos (sostenibilidad ambiental y de recursos), unido a el ahorro económico, la evolución tecnológica de la industria química y la menor dependencia energética que se consigue en una planta industrial química hacen de estos proyectos la mejor solución posible a este problema.

Es importante comentar que un proyecto de esta índole tiene dependencias políticas basadas en la cooperación y unidad política nacional e internacional.

Una vez que hemos presentado en esta primera parte del proyecto la justificación de la aplicación de medidas de ahorro energético, pasamos a un capítulo donde explicamos en que áreas de una planta química industrial podemos “atacar” para realizar las mejoras más óptimas posibles.

Nosotros nos hemos decantado por organizar dichos estudios tal como las auditorías energéticas lo realizan, tendríamos una primera fase de mediciones y preparación teórica de las medidas a adoptar y una segunda fase de aplicación de medidas y análisis de resultados.

No sólo nos limitamos a enumerar dichas mejoras separando por área de implicación (medidas generales o horizontales y aquellas más específicas de una planta química), también incluimos datos certeros sobre la inversión de la medida en concreto y su período de retorno. Justo gracias a esta información podemos ver que este tipo de proyecto también pueden realizarse de manera “low cost” y no sólo con la inversión de millones de euros, es decir, no siempre se busca el reemplazamiento de una máquina por otra más eficiente, se realiza un estudio de mantenimiento, costes actuales y reparaciones, además de maneras de reutilizar más eficientemente la energía como reubicación de calores perdidos o su uso en otros menesteres.

De forma general podemos decir que los principales usos de energía se encuentran en las calderas de vapor siendo de hasta el 50% del uso, seguida de la refirgeación industrial y sus ahorros potenciales llegan a ser del 5-15%. Por otra parte, tecnologías como motores eléctricos, bombas y aire comprimido no requieren tanto uso energético, pero tienen unas mayores tendencias al ahorro debido a las malas prácticas.

Dentro de los procesos químicos hemos destacado el secado, la evaporación y la destilación como principales áreas para realizar medidas energéticas. El porcentaje de ahorro es variable ya que depende de las características individuales y los usos de cada planta, esto se debe calcular en la fase inicial como hemos comentado antes, pero rondan el 15% de forma general.

Finalmente, también debemos destacar el elevado gasto (20%) que tenemos dentro de los edificios industriales debido a las amplias superficies que conyevan, así que, también hemos propuesto medidas a adoptar en este

sentido.

Todas las propuestas de mejora presentados en este proyecto tienen el objetivo de servir de referencia y ayuda a una empresa con ineficiencias energéticas y relacionadas con el desarrollo sostenible de una empresa industrial química.

Finalmente decir que todo el estudio se enfoca principalmente a una variable económica basada en el recorte de gasto energético y de recursos (electricidad, vapor, aire, agua...), ya que es la que impulsa al ingeniero a adentrarse en un proyecto como este.

## REFERENCIAS

---

1. N. Montes-Valencia, “La Industria Química: Importancia y Retos”, Lámpasakos, N°14, pp 72-85,2015
2. Wikipedia/industria química, available in:  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Industria\\_qu%C3%ADmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_qu%C3%ADmica)
3. Universidad San Jorge , OptimaGrid, ”Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa”, 2014
4. Cefic, “Chemdata International 2016”, available in :  
<http://www.cefic.org/Facts-and-Figures/>
5. Feique, “Informe RSE 2013“, available in:  
<http://www.feique.org/informe-de-rse-del-sector-quimico-espanol/>
6. Feique, “Datos sector químico español 2017”, available in :  
<http://www.feique.org/el-sector-en-cifras/>
7. Feique, “ Informe Comercio Exterior 2017”, available in :  
<http://www.feique.org/el-sector-en-cifras/>
8. Feique: Invertir en el sector químico español 2017, available in :  
<http://www.feique.org/informe-de-rse-del-sector-quimico-espanol/>
9. Feique: Radiografía Económica, Julio 2017-LR, available in:  
<http://www.feique.org/rse-y-sostenibilidad/>
10. Aleksandar Ivanc., Joan A. Pérez Rodríguez, ”Gas Natural Fundación: 20 casos practicos de la eficiencia energética en España”, 2015
11. Comunidad de Madrid, “Madrid ahorra: guía de ahorro energético instalaciones industriales”, Fenercom, 2006

12. Ministerio de Industria, “Plan Integral Política Industrial 2020 Gobierno de España”, 2014
13. Observatorio Industria del Metal, “Grandes Consumidores de Energía Eléctrica, Coste y Eficiencia Energética”, 2011
14. British Industry, Innovation and Science, “Chemical industries checklists: Best practice programme”, 2014
15. Cefic, Ecofys, “Energy Roadmap: The Report European Chemistry for growth”, 2013
16. Feique, “Hoja de Ruta 2015- Horizonte 2030 de la Industria Química Española”, 2015
17. Carbon Trust, “Introducing energy saving opportunities for business”, Agosto 2006
18. British Industry, Innovation and Science, “British Chemical industries checklist: Inorganic sites”, 2015
19. Ahorros Asociados a la Monitorización Energética, ISA 2014, Julio/Agosto 2014 / n.º 464
20. FEDER, ASICE, “Guía eficiencia energética del sector del caucho”, 2012
21. JRC, European Commission, “Los impactos del cambio climático en Europa: evaluación basada en indicadores”, 2016
22. EREN, “Medidas horizontales de ahorro y eficiencia energética sector industrial”, “Junta de Castilla y León”, 2009