

2

PLAN DE ASISTENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR LÁCTEO QUESERO

1	CÁRNICO
2	LÁCTEO QUESERO
3	CERÁMICO
4	LAVANDERÍAS
5	TEXTIL
6	PIENSOS
7	MADERA
8	HOTELERO

COLECCIÓN

2

**PLAN DE
ASISTENCIA
ENERGÉTICA
EN EL SECTOR
LÁCTEO QUESERO**

Ninguna parte de este libro puede ser reproducida, grabada en sistema de almacenamiento o transmitida en forma alguna ni por cualquier procedimiento, ya sea eléctrico, mecánico, reprográfico, magnético o cualquier otro, sin autorización previa y por escrito del EREN

Edita:

Junta de Castilla y León

Consejería de Economía y Empleo - Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN)

Elaborado por:

ENTE REGIONAL DE LA ENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN

Colaboración:

Dea Ingeniería S.A.

Diseño e Impresión:

Graficas Celarayn, S.A..

Depósito Legal: LE-1.243-2008

ÍNDICE

Presentación	11
Antecedentes	13
1. Introducción general	13
1.1. <i>Presentación</i>	13
1.2. <i>Objetivos</i>	14
1.3. <i>Situación actual y tendencias de los mercados energéticos</i>	15
1.4. <i>Situación actual y tendencias en Castilla y León</i>	15
2. Introducción al sector	21
2.1. <i>Aproximación energética al sector</i>	23
2.1.1. <i>Influencia de la situación de los mercados energéticos</i>	24
2.2. <i>Procesos productivos</i>	24
2.2.1. <i>Sector lácteo</i>	24
2.2.2. <i>Sector quesero</i>	29
2.2.3. <i>Subproductos y derivados</i>	32
2.2.4. <i>Consumos energéticos por productos y procesos</i>	33
2.3. <i>Equipos de proceso</i>	35
2.4. <i>Tecnologías horizontales</i>	42
3. Aprovisionamiento	47
3.1. <i>Condicionantes internos</i>	48
3.2. <i>Condicionantes externos</i>	49
3.3. <i>Cogeneración</i>	59
4. Contabilidad	63
4.1. <i>Contabilidad global</i>	64
4.2. <i>Contabilidad por procesos</i>	67
4.3. <i>Contabilidad por equipos</i>	70
4.4. <i>Contabilidad por productos</i>	73
4.5. <i>Equipos de medición en línea</i>	76
5. Auditorías energéticas	77
5.1. <i>Metodología para la realización de una auditoría energética</i>	77
5.2. <i>La auditoría energética en la industria láctea</i>	79
6. Mejoras energéticas	91
6.1. <i>Gestión de la producción</i>	91
6.2. <i>Mejoras horizontales</i>	92
6.2.1. <i>Calderas</i>	92
6.2.2. <i>Distribución de vapor</i>	99
6.2.3. <i>Intercambiadores de calor</i>	104
6.2.4. <i>Sistemas de frío</i>	105
6.2.5. <i>Aire comprimido</i>	108
6.2.6. <i>Aislamientos</i>	111
6.2.7. <i>Bombas y ventiladores</i>	116

6.3. Mejoras de proceso	117
6.3.1. Secadero multietapas	117
6.3.2. Conversión de ósmosis inversa a TVR	120
6.3.3. Ultraósmosis para concentración de suero	122
6.3.4. Aumento de la regeneración en pasterizadores y esterilizadores	124
6.3.5. Procedimiento CIP eficiente	126
7. Análisis económico	128
7.1. Análisis económico a nivel básico	129
7.2. Análisis económico en profundidad	130
7.3. Análisis de la oferta de financiación	131
8. Mantenimiento	132
9. Formación y sensibilización	136
10. Organización empresarial para la gestión de la energía	138
11. Interrelaciones empresariales	140
ANEXOS	
I Bibliografía	143
II Unidades de medida	144
III Características de los combustibles	146
IV Legislación	147

ÍNDICE DE TABLAS

1. Producción de la industria láctea en España y la UE	21
2. Producción de la industria láctea en Castilla y León	22
3. Distribución del consumo energético	23
4. Distribución de los consumos energéticos por actividades	23
5. Consumos específicos de productos lácteos	34
6. Porcentaje de costes de la energía en el coste total del producto lácteo	34
7. Consumos y rendimientos térmicos medios de procesos	35
8. Consumo energético en intercambiadores de calor	38
9. Rendimiento térmico de equipos de proceso	41
10. Intervalo de pérdidas eléctricas a plena carga	47
11. Ventajas e inconvenientes de combustibles y de la energía eléctrica	48
12. Tarifa industrial para el gas natural	50
13. Ejemplo de factura de gas natural	51
14. Tarifas eléctricas	51
15. Ejemplo de tarificación. Datos del suministro eléctrico	54
16. Ejemplo de tarificación. Datos de recibos eléctricos (I)	54
17. Ejemplo de tarificación. Datos de recibos eléctricos (II)	55
18. Ejemplo de tarificación. Precios de las tarifas	56
19. Ejemplo de tarificación. Resumen de mejoras	57
20. Factores que influyen en el aprovisionamiento energético.	58
21. Ejemplo de cogeneración: situación actual	62
22. Ejemplo al cogenerar: bases de partida	62
23. Ejemplo de cogeneración: resultados	62
24. Costes al cogenerar	63
25. Consumos mensuales de energía calorífica	64
26. Consumo mensual de energía eléctrica	65
27. Resumen anual de consumos energéticos	65
28. Consumo energético global	66
29. Ejemplo de contabilidad de consumos mensuales de energía calorífica	66
30. Ejemplo de contabilidad del consumo de energía eléctrica	67
31. Ejemplo de contabilidad del consumo mensual	67
32. Consumos energéticos por procesos en la industria quesera	68
33. Consumos energéticos por procesos en la industria láctea	68
34. Consumos energéticos en procesos auxiliares	69
35. Ejemplo de contabilidad energética mensual por procesos	69
36. Consumos energéticos en procesos auxiliares	70
37. Contabilidad energética en calderas	70
38. Contabilidad energética en otros equipos consumidores de energía primaria	71
39. Contabilidad energética en equipos consumidores de energía transformada	71
40. Códigos utilizados	71
41. Consumo eléctrico de un equipo	72
42. Ejemplo de contabilidad energética en una envasadora	72
43. Consumo eléctrico mensual en una envasadora	73
44. Coste energético mensual para un producto	74
45. Coste energético por unidad de producto	75

46. Coste energético mensual para leche pasteurizada	75
47. Fases de una auditoría energética	78
48. Análisis energético de una caldera	80
49. Calores entrantes a la caldera	81
50. Calores salientes de la caldera	81
51. Ejemplo de análisis energético de una caldera	85
52. Ejemplo de calores entrantes a una caldera	86
53. Ejemplo de calores salientes de una caldera	86
54. Análisis energético de un pasteurizador	88
55. Calores entrantes al pasteurizador	89
56. Calores salientes del pasteurizador	89
57. Ejemplo de análisis energético de un pasteurizador	90
58. Ejemplo de calor entrante a un pasteurizador	90
59. Ejemplo de calores salientes de un pasteurizador	90
60. Análisis energético de una caldera con regulación automática	95
61. Resultados de un ejemplo de redimensionado de un sistema de frío	108
62. Costes y consumo energético de ósmosis inversa	121
63. Costes y consumo energético de TVR	122
64. Consumo y costes anuales de una planta TVR de 4 etapas	123
65. Consumo y costes anuales de una planta de ultra-ósmosis	124
66. Análisis energético de un pasteurizador	125
67. Calores entrantes	125
68. Calores salientes	125
69. Consumo diario de vapor de un sistema CIP	127
70. Cuadro soporte para la evaluación preliminar de mejoras	128
71. Análisis económico de la optimización de la combustión	129
72. Mantenimiento preventivo en producción y distribución de frío	133
73. Mantenimiento preventivo en producción y distribución de vapor	134
74. Mantenimiento preventivo en secaderos	134
75. Mantenimiento preventivo en aire comprimido	135
76. Mantenimiento preventivo en elementos varios	135
77. Parte de averías en mantenimiento correctivo	136
78. Modelo normalizado de análisis de mejoras	141
79. Sistema internacional de unidades	144
80. Múltiplos y submúltiplos	144
81. Unidades de uso común	145
82. Relación entre las principales unidades de energía, trabajo o cantidad de calor	145
83. Conversión a tep	145
84. Combustibles líquidos: fuelóleo nº 1 y fuelóleo nº 1 BIA	146
85. Combustibles líquidos: gasóleo C	146
86. Combustibles gaseosos: gas natural de Argelia	146

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Producción interior de energía primaria	16
2. Consumo de energía final por fuentes en Castilla y León (Ktep)	17
3. Participación en el consumo de energía por provincias	18
4. Localización de la industria láctea en Castilla y León	22
5. Diagrama de proceso del sector lácteo	25
6. Tanque de almacenamiento	26
7. Envasadora	28
8. Proceso productivo del sector quesero	29
9. Cuba de cuajado	30
10. Moldes y proceso de moldeo	31
11. Prensado	31
12. Saladero	31
13. Proceso de envasado	32
14. Esquema de temperaturas en un intercambiador de calor	35
15. Pasterizador	37
16. Sistema CIP	40
17. Caldera pirotubular	42
18. Instalación frigorífica de compresión mecánica	44
19. Evaporadores tubulares	44
20. Compresor	46
21. Producción separada de energía térmica y eléctrica	59
22. Generación conjunta de energía térmica y eléctrica	59
23. Esquema de planta de cogeneración con motor de combustión interna	61
24. Equipos de medición en línea	76
25. Esquema general de un generador de vapor	79
26. Esquema de un pasterizador con regeneración	87
27. Producción de vapor y sistema de distribución	93
28. Regulación automática de calderas	94
29. Sistema de regulación	94
30. Esquema de economizadores para el generador de vapor	96
31. Instalaciones sin recuperación de revaporizado	101
32. Instalaciones con recuperación de revaporizado	101
33. Tanque de hielo	106
34. Compresor refrigerado por agua	109
35. Ábaco de Wrede	112
36. Ábaco de pérdidas de calor en tuberías calorifugadas	113
37. Esquema de secado en 3 etapas	119
38. Esquema de funcionamiento de un evaporador con termocompresor	121
39. Esquema de funcionamiento de una planta de ultraósmosis	123
40. Túnel de lavado	126
41. Panel de control	137
42. Estructura del órgano gestor de la energía	139

PRESENTACIÓN

La energía representa un factor muy importante en el sector industrial, adquiriendo en la actualidad un papel relevante al haberse convertido en un criterio de decisión en las estrategias de las empresas.

Producir de forma eficiente es un objetivo que persigue todo industrial, pues ello, sin duda, le ayudará a competir con otras empresas de su mismo sector.

En este apartado, el ahorro y la eficiencia energética contribuyen a conseguir dicho objetivo, y por ello, la Consejería de Economía y Empleo, a través del Ente Regional de la Energía de Castilla y León, publicó en el año 2000 una colección de manuales que contribuyen a mejorar el ahorro energético y la eficiencia energética en distintos sectores de actividad de nuestra Comunidad Autónoma.

Los cambios en la normativa, y la evolución en los mercados energéticos, los avances tecnológicos y la necesidad permanente de mejorar la gestión energética, aconsejan actualizar estos manuales, revisión que se enmarca dentro de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España E4.

En este sentido, el Ente Regional de la Energía de Castilla y León presenta ahora la actualización y adaptación al momento actual de estos Planes Sectoriales de Asistencia Energética con el objetivo de que sirvan de guía a todas aquellas personas, que por su trabajo o posición puedan influir en la actividad de las empresas y así reducir el consumo energético en las mismas.

Es mi deseo que con la lectura de este manual se pueda contribuir a reducir los costes de producción de nuestras empresas, así como a reducir nuestra dependencia del exterior en el aprovisionamiento energético, con la consiguiente mejora del medioambiente, y contribuyendo desde esta Comunidad Autónoma a conseguir los objetivos fijados en el Protocolo de Kyoto y que dirigen las políticas energéticas y medioambientales en la actualidad.

Tomás Villanueva Rodríguez
*Vicepresidente Segundo
y Consejero de Economía y Empleo*

ANTECEDENTES

Toda empresa, industrial o de servicios, de mayor o menor tamaño, debe entender la energía como una materia prima más de su proceso productivo que supone un coste y representa una fracción importante del precio final del producto.

La gestión energética y la optimización en el diseño de equipos y procesos en la empresa conllevarán el uso eficiente de la energía y, ligado a él, la reducción de la contribución de los costes energéticos en el valor añadido de los productos.

En este sentido, el Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN) realiza actuaciones sectoriales para la implantación de mejoras energéticas. Dichas actuaciones, dentro de las cuales se encuentra el presente Plan Sectorial, persiguen la mejora de la competitividad de las PYMEs de Castilla y León a través de la optimización y racionalización de sus consumos energéticos.

Este Plan Sectorial de Ahorro y Eficiencia Energética para los sectores lácteo y quesero se ha elaborado a partir del análisis de los consumos, de las características del aprovisionamiento energético, de los procesos, equipos e instalaciones productivas, de las técnicas de ahorro energético existentes, de los modelos de gestión, etc.

La información necesaria para su elaboración se ha extraído de estudios y encuestas de organismos públicos y privados, pero sobre todo de la realización de tres visitas a industrias lácteas y de dos a industrias queseras de la Región, si bien en ningún momento se ha pretendido que la muestra sea representativa en términos estadísticos.

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. PRESENTACIÓN

El **Ente Regional de la Energía de Castilla y León (EREN)** fue creado por Ley 7/1996 y se constituye como instrumento para la materialización y gestión de las actuaciones en materia energética, contribuyendo así al desarrollo industrial y económico de Castilla y León. Mediante la realización de programas de ahorro y eficiencia energética, el EREN intenta promover dos grandes políticas: el desarrollo regional y la protección del medio ambiente.

En este ámbito se enmarca el presente **Plan de Asistencia Energética del Sector Lácteo-Quesero de Castilla y León**, cuya finalidad es lograr un **uso racional y eficiente de la energía**. Para ello se pretende informar a las empresas sobre las distintas medidas que se pueden llevar a la práctica para mejorar la gestión energética, identificando los distintos aspectos y factores que influyen en el buen uso de la energía.

El propósito de esta publicación es ser de utilidad para el mayor número de empresas de los sectores lácteo y quesero, buscando aumentar su competitividad a través de la disminución de sus costes energéticos de producción.

Este documento se hace posible gracias a la colaboración prestada por las empresas del sector y las personas entrevistadas.

En particular:

- Federación Castellano-Leonesa de industrias lácteas.
- Federación Nacional de industrias lácteas.
- Quesos Frías, S.A.
- Lecherías del Noroeste, S.A.
- Central Lechera Vallisoletana.
- Hijos de Salvador Rodríguez, S.A.
- S.A.T. Gaza.
- Perinox, S.A.
- APV Ibérica Ingeniería y Servicios, S.A.

1.2. OBJETIVOS

Los principales objetivos de esta publicación pueden resumirse en:

- Adquirir la energía en las mejores condiciones de precio y calidad de suministro, adecuando la gestión de estos aprovisionamientos a los cambios que en estos mercados se están produciendo.
- Conocer y controlar, de manera precisa, los consumos energéticos mediante un sistema de información adecuadamente diseñado que permita establecer objetivos concretos en la mejora de la eficiencia en el uso de la energía.
- Optimizar la eficiencia de equipos y procesos analizando los flujos de energía en los mismos. Este análisis mostrará si es posible ahorrar más energía rediseñando el equipo o proceso o utilizando otro alternativo.
- Usar la energía de forma racional, lo cual conducirá a ahorros de energía con baja inversión.
- Aunar esfuerzos en la reducción de costes energéticos, mediante la colaboración en proyectos tanto con empresas del sector como con otras empresas.
- Aprovechar y potenciar el capital humano disponible, ya que la reducción de costes de la energía no depende exclusivamente de la tecnología, sino que está muy ligada a la concienciación de las personas.
- Identificar los “consumos evitables”, tanto en horas productivas como de no producción.

Para alcanzar dichos objetivos se hace necesario tener en cuenta una serie de aspectos:

- Esta publicación debe considerarse como un plan a largo plazo con un desarrollo escalonado de las mejoras propuestas.
- Las líneas de acción que se contemplan son de carácter general, debiendo cada empresa adaptarlas a su proceso productivo.
- La reducción de los gastos de aprovisionamiento energético repercute directamente en la reducción de los costes de la empresa.
- La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E-4)..
- Los criterios de optimización energética son apoyados por las distintas administraciones, como se refleja en el Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010, que constituye la revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010.

Con esta revisión, se trata de mantener el compromiso de cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de la energía en 2010, así como de incorporar otros objetivos indicativos -29,4% de generación eléctrica con renovables y 5,75 de biocarburantes en transporte para ese año adoptados con posterioridad al anterior plan.

- El ahorro energético se integra en los programas de Medio Ambiente para contribuir al desarrollo sostenible.
- La mejora de la eficiencia energética y el ahorro energético está prevista, para el sector industrial, como uno de los objetivos principales en el Plan de Ahorro y Eficiencia de Castilla y León.

1.3. SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS DE LOS MERCADOS ENERGÉTICOS

A continuación se presenta, de forma resumida, la situación actual de los mercados energéticos, sus tendencias y la influencia de las mismas en el futuro del sector Lácteo-Quesero de Castilla y León.

La situación actual del sector energético español viene caracterizada por:

- Una fuerte concentración del balance de energía primaria en el petróleo.
- Una gran dependencia externa en el aprovisionamiento energético.
- Una escasa diversificación geográfica de los proveedores externos de energía -la mayor parte del petróleo importado procede de Oriente Medio y el gas natural de Argelia y Libia.
- Una gran rigidez en la composición del consumo final de energía.

Sus tendencias se determinan por las pautas fijadas en el Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010 y por la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética de España (E-4). En ellos se reconoce la importancia de la consideración de dos nuevos factores. El primero de ellos es la integración de la política ambiental dentro de la política energética, tal y como exige el principio de desarrollo sostenible, uno de los principales pilares de la política europea en materia de medio ambiente (VI PACMA). El segundo se fundamenta en un aumento de la competitividad en la oferta energética.

La estructura de la demanda primaria de energía estará caracterizada por un aumento en la contribución del gas natural y de las energías renovables, así como por un descenso de la importancia relativa de la energía nuclear, el petróleo y el carbón. Esta nueva estructuración de la demanda responde a los objetivos de contribuir a una mayor diversificación en el consumo de combustibles, conseguir una mayor protección ambiental, una minimización de costes y mejorar la eficacia.

La reducción de las emisiones, fundamentalmente de CO₂ (principal causante del efecto invernadero), SO₂ y NO_x (causantes de la lluvia ácida) es una de las acciones de carácter medioambiental a la que más recursos se están dedicando, adoptando medidas tales como¹:

- La adaptación de algunas centrales de fuelóleo o gasóleo a gas natural.
- La utilización de quemadores de baja emisión de NOx.
- El aumento de la participación de carbones de menor contenido en azufre.
- La reducción gradual del contenido en azufre del fuelóleo utilizado en las centrales eléctricas.
- El aumento significativo de la cogeneración.
- La utilización de tecnologías de combustión limpias.
- El empleo de ciclos combinados con gas natural.
- La combustión por etapas.
- La potenciación de las energías renovables.

¹ Plan de Energías Renovables en España.

Producción nacional de energía primaria (ktep)

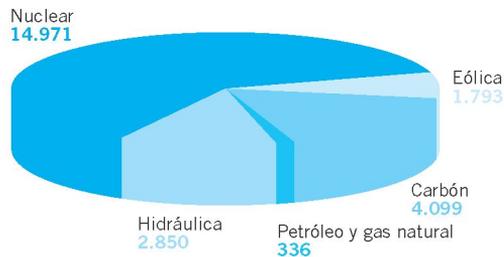


Figura 1. Producción interior de energía primaria (ktep).

Fuente: Estadística Energética de Castilla y León, Resumen Anual 2005.

La evolución prevista de la demanda energética está afectada por un alto grado de incertidumbre, al depender del crecimiento económico, de los precios energéticos y del ritmo en la renovación de los equipos, entre otras variables. No obstante, se prevé un crecimiento medio aproximado de un 2.5% anual² de la demanda para la presente década, estableciéndose un objetivo de ahorro de energía primaria del 12% sobre la tendencia actual.

De igual modo, se estima una evolución moderada de los precios a lo largo de la década, especialmente los relativos al carbón, dada la existencia de una oferta mundial diversificada y de bajo coste de extracción.

1.4. SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS EN CASTILLA Y LEÓN

1.4.1. Producción

En la Comunidad Autónoma de Castilla y León existen dos zonas mineras diferenciadas: las minas de antracita y hulla en el norte de las provincias de León y Palencia y las minas de uranio en Salamanca. Por otro lado, la totalidad de la cuenca del Duero constituye un sistema hidrográfico de gran importancia.

La central nuclear de Santa María de Garoña (Burgos), cuatro centrales térmicas de carbón, así como numerosas centrales hidroeléctricas, hacen posible que la región castellano y leonesa sea una de las principales productoras nacionales de energía eléctrica.

La cuenca del Duero, con 3.392 MW de potencia hidráulica instalada, supone el 20,5% del total español, en cuarto lugar tras la cuenca Norte (25,1%), las cuencas del Tajo, Segura y Júcar (25,2%) y la cuenca del Ebro (21,6%)³. Castilla y León producen el 17,48% de la energía hidráulica de España. Este hecho es aún más importante si consideramos que España cuenta con uno de los parques hidroeléctricos más importantes del mundo, ocupando el octavo lugar en cuanto a la potencia hidroeléctrica instalada dentro de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Únicamente naciones extensas como Estados Unidos y Canadá, o países de orografía montañosa y con grandes recursos hidráulicos, como Suecia o Noruega, cuentan con un parque hidroeléctrico mayor que el español.

Las centrales térmicas que queman carbones ricos de más de 4.500 kcal/kg son las de Anllares, La Robla, Compostilla y Velilla del Río Carrión.

² Fuente Plan Energético Nacional

³ Fuente: Estadística energética de Castilla y León.

Por último, la producción anual de la central nuclear de Garoña es de aproximadamente 3.700 millones de kWh, es decir, un 6,41% de la electricidad de origen nuclear y un 2,5% del total de producción eléctrica anual en España. Estas cifras equivalen aproximadamente al 40% del consumo eléctrico de la Comunidad de Castilla y León. Durante 2005, la central generó 3.680,38 millones de kWh, con un factor de carga superior al 90%. Hasta octubre de 2006 ha tenido una producción de 110.181.914 MWh.⁴

Todos estos datos refuerzan la idea de que la Comunidad Autónoma de Castilla y León es una de las principales productoras de energía a escala nacional y representa un enclave energético de extraordinaria importancia; de hecho, se puede indicar que la Comunidad Autónoma produce el 16,63% de la energía primaria del país, destacando sobre las demás la producción de hulla (43,39% sobre el total nacional), antracita (68,36%) e hidráulica (17,48%). No se ha considerado en la estadística anterior la producción de hulla subbituminosa, ni de lignito, ni de biomasa. En el caso de la energía eléctrica bruta, la región produce el 11,62% del total nacional⁵.

Consumo

Según los datos de 1997 del Instituto Nacional de Estadística, Castilla y León se encuentra en el séptimo lugar nacional en consumo de energía, sólo superada por Cataluña, Andalucía, Madrid, Comunidad Valenciana, País Vasco y Galicia. Los consumos de energía agrupados por fuentes se muestran en la figura 2.

Consumo de energía final por fuentes (ktep)

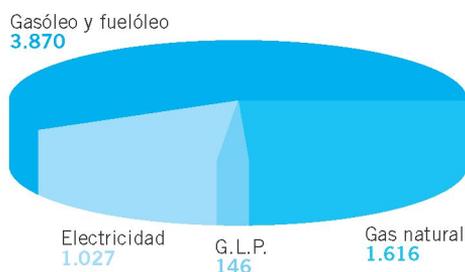


Figura 2. Consumo de energía final por fuentes en Castilla y León (ktep.).

Fuente: Estadística energética de Castilla y León. Resumen anual 2005.

El consumo de energía eléctrica se sitúa entorno al 4,82% respecto del total nacional, concentrándose dicho consumo en las provincias de Burgos (16,91%), León (18,90%) y Valladolid (22,08%)⁶.

La utilización de gas natural en la región representa el 5,32% del total nacional, centrándose en Burgos (34,16%), Valladolid (33,49%) y León (8,65%)⁷.

El consumo de GLP supone el 5,74% del nacional, y se concentra en las provincias de Salamanca (16,18%), León (16,16%) y Valladolid (15,78%), mientras que el de otros productos petrolíferos

4 Fuente: Foro de la Industria Nuclear Española.

5 Fuente: Estadística energética de Castilla y León. Resumen Anual, 2005.

6 Fuente: Estadística Energética en Castilla y León. Resumen Anual, 2005.

7 Fuente: Estadística Energética en Castilla y León. Resumen Anual, 2005.

(gasóleo y fuelóleo) se centra en Burgos, León, Salamanca y Valladolid, representando el consumo regional un 9,19% del total nacional⁸.

En resumen, en el consumo final por fuentes de energía, priman el gasóleo y el fuelóleo que suponen un porcentaje sobre el total de un 58,11%, el gas natural un 24,26%, la energía eléctrica representa el 15,43% y, por último, los gases licuados del petróleo un 2,2%. Dichos consumos se concentran en las provincias de Burgos, León y Valladolid, que reúnen entre las tres un 59% del consumo total de energía en la región, como se muestra en la figura 3..

Participación en el consumo de energía por provincias

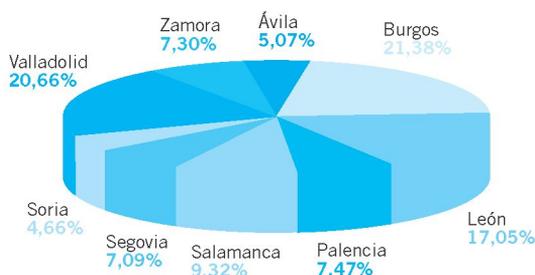


Figura 3. Participación en el consumo de energía por provincias.

Fuente: Estadística energética de Castilla y León. Resumen anual 2005.

Existe un desequilibrio importante entre la cantidad de energía consumida en la región y la cantidad producida, pudiéndose afirmar que Castilla y León es una Comunidad Autónoma exportadora de energía.

La política energética de Castilla y León está supeditada a la política energética nacional y está recogida en varios planes autonómicos: Plan de Ahorro y Eficiencia Energética, Plan Solar de Castilla y León, Plan de Bioenergía de Castilla y León, y Plan Eólico. Éstos se basan en la potenciación y racionalización de los recursos autóctonos (apoyo a la minería del carbón), la adopción de programas de ahorro, diversificación y optimización energética (reducción del consumo tendencial por energías, uso racional de la energía, sustitución de combustibles derivados del petróleo por gas natural y de energías convencionales por energías renovables, cogeneración, etc.).

Existen buenas perspectivas en cuanto a la utilización de energías renovables como fuentes alternativas de energía, lo que sitúa a la región en un puesto muy importante a nivel nacional.

Así, y en materia de energías renovables, se están desarrollando políticas diferenciadas para cada uno de sus subsectores, mediante las cuales se está facilitando el aumento de la aportación de las renovables al balance energético.

De hecho, en términos de energía eléctrica, la producción en Castilla y León mediante energías renovables puede suponer el 82% de nuestro consumo, frente a una media a nivel nacional en el entorno del 20% y siendo el objetivo europeo de participación de las energías renovables en el consumo eléctrico global del 22% en el año 2010.

⁸ Fuente: Estadística Energética en Castilla y León. Resumen Anual, 2005.

Energía eólica

De las distintas áreas de las energías renovables, es en energía eólica donde se ha logrado el mayor nivel de desarrollo, lo que hace que Castilla León sea a medio plazo, según la planificación de infraestructuras energéticas del Gobierno de la Nación, una de las Comunidades Autónomas con mayor potencia instalada.

Los datos que actualmente se están manejando establecen una potencia instalada o en construcción de 3.200 MW, a la que se añade 3.100 MW más con autorización administrativa, lo que ofrece una cifra total de 6.300 MW.

Igualmente, se ha producido un extraordinario incremento en las labores de fabricación en la Región. Así, desde la práctica inexistencia de instalaciones industriales hace 7 años, en la actualidad el empleo directo ligado únicamente a esta actividad se cifra en el entorno de 1.900 personas.

En Castilla y León, se fabrican palas, torres, sistemas de control, mecanizados, carcasas de poliéster, multiplicadores y sistemas de freno, igualmente se realiza el montaje de góndolas en 4 lugares distintos, además de acoger varios centros de logística y mantenimiento.

Energía hidráulica

En relación con la gran hidráulica, Castilla y León tiene actualmente instalados un total de 4.218 MW, que el año 2006 aportaron el 26% del total de la producción eléctrica bruta regional, destacándose las centrales de Ricobayo, Aldeadavila y Villarino.

La energía minihidráulica también confirma a Castilla y León como una de las primeras Comunidades Autónomas en su utilización, con un número de minicentrales en funcionamiento alrededor de 200, en el entorno de 300 MW instalados.

Bioenergía

En la actualidad y respecto a estas plantas existe un elevado número de iniciativas si bien la gran mayoría de ellas todavía se encuentran en un estado de desarrollo muy inicial, en la actualidad totalizan los 17 proyectos con 267 MW una capacidad de tratamiento de algo más de 2 millones de t/año.

En cuanto a las plantas de biocarburantes ya existe entre construidas y en construcción una capacidad de producción de 98.000 t/año de biodiesel en 4 plantas y 345.000 m³/año de bioetanol en otras 3 plantas.

De estas, destacar que en conjunto y en empleo directo, ocuparán a un total de 350 personas, así como movilizarán unas inversiones de 370 M€ y una cantidad de 325.000 t/año de semillas oleaginosas y 1 millón de t/año de cereales.

Igualmente hay varias iniciativas para un total de 273.000 t/año de biodiésel, así como 150.000 m³/año de bioetanol en diversos estados de avance.

Respecto a la distribución, son ya unas 70 gasolineras las que suministran biodiesel mezclado con gasóleo de automoción, aunque este número se va incrementado rápidamente.

Dentro de una iniciativa más global, en la actualidad se está elaborando un Plan de la Bioenergía de Castilla y León, conjuntamente con las Consejerías de Medio Ambiente y de Agricultura y Ganadería,

que considerará los anteriores aspectos, en especial el desarrollo diferenciado de los subsectores, y la actuación en los diferentes eslabones del patrón de gestión.

Energía Solar

Castilla y León cuenta con aproximadamente 72.000 m² instalados y más de 50 MWp. Esta capacidad se ha venido incrementando paulatinamente con los años, habiendo llegado, desde finales del 2002, a cuadruplicar y multiplicar por 50 la superficie solar térmica y potencia fotovoltaica respectivamente.

En el campo industrial, en la actualidad se desarrollan importantes iniciativas para la fabricación de componentes en la Región: fabricación de módulos fotovoltaicos y de tratamiento antifricción y sellado de placas para la fabricación de seguidores solares, fabricación de captadores solares térmicos y módulos fotovoltaicos, fabricación de obleas de silicio, de máquinas de absorción por sales y fabricación de paneles solares térmicos.

El hecho de que como consecuencia de legislación nacional, por transposición de Directivas Europeas, o por ordenanzas urbanísticas (Burgos, León, Miranda de Ebro, Cuellar y Valladolid), se haga realmente efectiva la obligatoriedad de incorporar energía solar en la nueva construcción, va a suponer un cambio radical en este sector.

Destaca en Castilla y León la labor realizada en la incorporación de energía solar a las propias dependencias de la Administración regional, contabilizándose en más de 70 las instalaciones desarrolladas en los últimos años en Hospitales, Centros de formación, albergues juveniles, polideportivos municipales o las propias sedes del gobierno regional.

Energía geotérmica

Como consecuencia de la inexistencia de potenciales geotérmicos de relevancia, el aprovechamiento de este recurso ha sido prácticamente inexistente en nuestra región, si bien la paulatina introducción a nivel comercial de tecnologías que permiten aprovechar para la generación de calor o electricidad los recursos geotérmicos de baja temperatura, va a dar a este sector en Castilla y León una oportunidad para su desarrollo.

1.4.2. Situación del Mercado Eléctrico

El sector eléctrico es básico para los objetivos generales de la política energética, ya que puede utilizar todas las fuentes de energía primaria convencionales en la producción de electricidad y, además, genera las mayores inversiones dentro del sector energético. Se debe también tener en cuenta la revisión de la Planificación 2002-2011 de los Sectores Eléctrico y Gasista, por cuanto establecerá la acometida de las inversiones necesarias en las redes de transporte que garanticen la necesaria capacidad de evacuación de las nuevas instalaciones del Régimen Especial.

1.4.3. Mercado del Gas Natural

El mercado de gas natural se está enfrentando también a una profunda transformación. El crecimiento de la demanda, los cambios en el ámbito europeo y la reestructuración del sector eléctrico han sido factores determinantes en el proceso de liberalización de este mercado. Asimismo, la revisión de la Planificación 2002-2011 de los Sectores Eléctrico y Gasista garantiza el adecuado suministro de gas a las instalaciones que lo precisen.

El desarrollo de la red de suministro de gas natural en la Comunidad Autónoma posibilitará la aplicación de nuevas tecnologías por parte de las empresas.

1.4.4. Mercado del Fuelóleo

Sin ninguna duda, la utilización de fuelóleo y otros derivados del petróleo estará condicionada por el encarecimiento del mismo, así como por las ventajas de las energías renovables ante los nuevos compromisos de carácter medioambiental, muy especialmente los derivados del Plan de Asignación de Derechos de Emisión (PNA) aprobado recientemente por el Gobierno.

2. INTRODUCCIÓN AL SECTOR

La producción en volumen de productos lácteos dentro de la Unidad Europea viene sufriendo un proceso de reducción progresiva motivada por la política comunitaria en este sentido. Sin embargo, el consumo de leche y nata permanece estable, detectándose una ligera recesión en el consumo de mantequilla y un aumento en el de queso y yogur.

En este contexto internacional, las empresas españolas, y en particular las castellano y leonesas se esfuerzan en reforzar sus posiciones en los mercados domésticos. Así, en los últimos años, se han producido diversas fusiones y adquisiciones en empresas lácteas de la región.

La tabla siguiente resume, en términos de producción del vacuno, la situación del sector a nivel europeo y nacional.

Tipo de producto	Producción (miles t)	Composición de la producción en España	Composición de la producción en la EU
Leche de consumo	3.706,42	80,3%	16%
Nata	103,8	2,3%	12,2%
Yogur y otros productos frescos	563,18	12,2%	3,5%
Leche concentrada y condensada	67,86	1,5%	2,2%
Leche en polvo desnatada	7,43	0,2%	6,2%
Otras leches en polvo	14,4	0,3%	1,1%
Mantequilla	31,47	0,7%	23,2%
Queso de vaca puro	118,96	2,6%	32,4%

Tabla 1. Producción de la industria láctea en España y la UE.

Fuente: Dirección General de Planificación Económica y Coordinación Institucional (MAPA) y Eurostat, 2007.

PROVINCIA	Nº de empresas	Leche pasterizada (kl)	Leche uperizada (kl)	Queso (t)	Queso fundido (t)	Nata (kg)	Mantequilla (t)
Ávila	14	0	0	1.003,2	800	0	0
Burgos	24	8.590	300.520	7.929	0	3.405,6	5.407
León	43	36.980	43.890	12.789,6	7.325	900,9	662,8
Palencia	35	7.546	0	7.827,7	391,2	619,6	77
Salamanca	25	64.127,3	261.233,6	11.922,9	0	1.050	4,5
Segovia	9	35.280	0	326,4	0	1.000	0
Soria	5	3.000	10.000	49	0	100,1	48
Valladolid	43	736.500	116.600	15.809,2	15	58,8	11
Zamora	30	5.680,8	12.680	16.474,2	0	53,8	3,3
TOTAL	228	897.704,1	744.923,6	74.131,2	8.531,2	7.188,8	6.213,6
% sobre total nacional	14,2%	41,28%		35,48%		12,84%	26,44%
% sobre total UE*	3,5	5,48		1,27		0,57	0,34

Tabla 2. Producción de la industria láctea en Castilla y León.

Fuente: Consejería de Agricultura y Ganadería. Última actualización.

* UE de 15 miembros.

Como se desprende del análisis de la tabla 2, la producción en Castilla y León está orientada hacia la leche y el queso, productos con menores consumos energéticos específicos que la nata y la mantequilla. Esta particularidad introduce diferencias en la estructura energética del sector en la región frente a la nacional y europea.

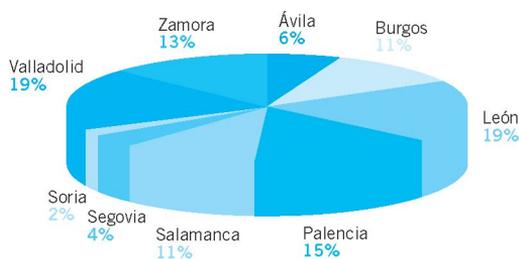


Figura 4. Localización de la industria láctea en Castilla y León.

Fuente: Consejería de Agricultura y Ganadería. 1998.

2.1. APROXIMACIÓN ENERGÉTICA AL SECTOR

Las industrias lácteas precisan del uso de la energía para desarrollar su actividad normal y mantener en marcha sus procesos. Por un lado, necesitan energía eléctrica para iluminación, maquinaria y equipos. Por otro, requieren energía térmica para generar vapor y agua caliente.

Para la leche, el coste energético aproximado supone un 1,8% de media, mientras que para el queso supone un 2,3%⁹ de la producción bruta, sumando un total equivalente a más de 14.122 millones de euros al año en Castilla y León.

El consumo de energía térmica es mayor que el de energía eléctrica, tanto en la producción de queso como en la de leche. La fabricación de queso requiere más energía por tonelada que la de leche, debido a los consumos energéticos en el proceso del tratamiento del suero.

Dada la situación actual de los mercados energéticos, si bien el consumo de energía térmica para el sector lácteo y quesero es mayor que la eléctrica, su coste tiene un impacto menor que el de la energía eléctrica.

Las tablas 3 y 4 muestran, de forma aproximada, y sin ánimo de ser exhaustivas, la estructura de consumo de las industrias lácteas y queseras, calculada a partir de datos de 32 empresas. En ellas se ha tomado como unidad la tonelada equivalente de petróleo, realizando las transformaciones con arreglo al cuadro que se muestra en el Anexo II.

Fuelóleo	42,92%
Gasóleo C	3,25%
Propano	0,05%
Gas Natural	31,78%
Total Energía Térmica	77,95%
Total Energía Eléctrica	22,05%

Tabla 3. Distribución del consumo energético.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de 32 empresas.

Consumo:	Térmico	Eléctrico
Industrias lácteas	46%	43%
Industrias queseras	44%	53%
Tratamiento de suero líquido	10%	4%

Tabla 4. Distribución de los consumos energéticos por actividades.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de 32 empresas.

⁹ Fuente: Estudio sobre la innovación tecnológica en el sector lácteo en Castilla y León.

2.1.1. Influencia de la situación de los mercados energéticos

Los cambios inminentes que van a experimentar los mercados energéticos, exigen una rápida y eficaz planificación estratégica en las empresas de los sectores lácteo y quesero de Castilla y León, de cara a fortalecer el poder de negociación con las compañías suministradoras.

La vigilancia, tanto de cambios externos –evolución de los precios, diferentes tipos de contrato, etc.– como internos –cambios de proceso, ampliación de instalaciones, etc.– permitirá revisar las condiciones del aprovisionamiento energético en dichas empresas.

Para conseguir reducir los costes de la energía es necesario, en primera instancia, conocer dónde se consume, –separando producción de acondicionamiento– cuánto, y de qué manera, para poder incidir en aquellos puntos donde el ahorro pueda ser más relevante. Por lo tanto se deberán desarrollar sistemas de adquisición de datos y optimizar su posterior tratamiento.

El análisis de los datos, cuando estos evidencien alguna anomalía –rendimientos más bajos que instalaciones similares, etc.– debe desembocar en la realización de auditorías energéticas y éstas en recomendaciones sobre mejoras en el mantenimiento energético, sustitución de equipos por otros de mayor eficiencia, etc.; siempre acompañadas de un análisis de rentabilidad.

El peso de los costes de la energía en los periodos de no producción no puede obviarse. Deberá analizarse cómo y cuánto se pueden reducir y conseguir una modulación de la curva de carga, que evite penalizaciones en la factura eléctrica.

2.2. PROCESOS PRODUCTIVOS

Entre las **materias primas** utilizadas por las industrias de los sectores quesero y lácteo destacan:

- Leche de vaca.
- Leche de oveja.
- Leche de cabra.
- Otros productos lácteos, como nata, leche en polvo, mantequilla, crema, queso y suero líquido.
- Productos no lácteos, como sal, azúcar, huevos, caramelo, cacao, conservantes y estabilizantes.
- Productos que intervienen en la elaboración de productos alimenticios no lácteos como zumos, mayonesas y ketchup.
- Productos no alimenticios que se procesan en las industrias lácteas, como envases de cartón, cera y parafina para pintar quesos o polietileno para botellas.

A continuación se describen, de forma separada, el proceso productivo del Sector Lácteo y el del Sector Quesero. Ambos procesos comienzan con la recolección de la leche, que engloba el conjunto de operaciones destinadas a su recogida y transporte desde los puntos de ordeño hasta la planta fabril. Los productos lácteos son perecederos, fácilmente contaminables y muy sensibles a las temperaturas elevadas; esto hace que el proceso de recolección tenga que cumplir unas condiciones específicas en cuanto a duración y temperatura.

2.2.1. Sector lácteo

De forma esquemática, a continuación se presenta un diagrama de bloques del proceso de fabricación en el sector lácteo.

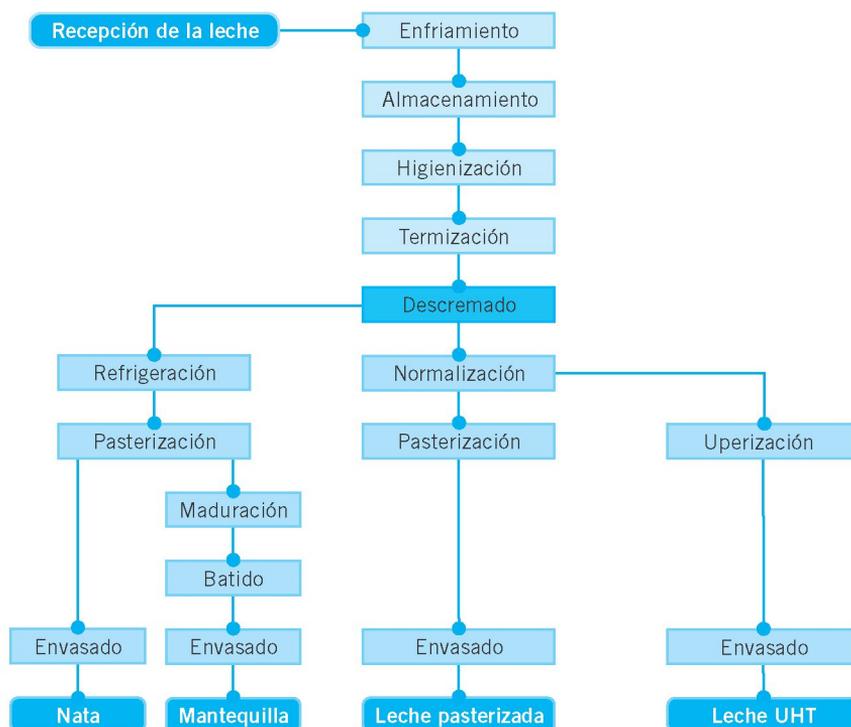


Figura 5. Diagrama de proceso del sector lácteo.

Fuente: Elaboración propia.

Bajo el punto de vista nutricional e industrial, los componentes básicos de la leche son: proteínas, grasa y lactosa. Las proporciones de estos constituyentes vienen marcadas, en buena medida, por el primero de los procesos a los que es sometida la leche: la **recepción**. Para determinar sus porcentajes, se realiza un **control de calidad**, registrando y verificando tanto la cantidad como la calidad de la materia prima. Se anota el peso o el volumen de leche recibida y se toma una muestra para su posterior análisis.

A continuación se descarga en cisternas o en estanques, desde donde es bombeada hacia los depósitos de almacenamiento, tras haber sido sometida a una serie de tratamientos físicos, que varían en función de los productos a elaborar. El primero de ellos es el **enfriamiento**. Si la leche no es utilizada inmediatamente después de su recepción, es necesario enfriarla y almacenarla hasta una temperatura aproximada de 4 ó 5°C. El enfriamiento puede conseguirse mediante un intercambiador de calor de placas, que utiliza agua helada como líquido refrigerante.

Después de enfriarse, la leche se envía a los tanques de **almacenamiento**, desde donde se destinará a los distintos procesos de fabricación. Estos tanques suelen estar aislados para garantizar la conservación de la temperatura de la leche a 4°C durante al menos 20 horas.

La siguiente operación a realizar es la de **higienización**; es decir, la eliminación de impurezas sólidas mediante filtrado y posterior centrifugado. Su objetivo es la eliminación de los cuerpos extraños y de las macro y micropartículas presentes en la leche. Su presencia depende en gran parte del cuidado que se haya tenido durante y después del ordeño.



Figura 6. Tanque de almacenamiento.

Fuente: Cortesía de Lecherías del Noroeste, S.A.

La higienización engloba los siguientes procesos:

- Filtrado.
- Centrifugación en clarificadoras.
- Bactofugación.
- Homogenización.

Durante el **filtrado** se hace pasar la leche a través de filtros de tela sintética o de algodón, eliminando de esta manera las macropartículas y cuerpos extraños. Generalmente se emplean filtros gemelos con el fin de facilitar su limpieza alternada sin interrumpir la producción.

Mediante la **centrifugación** se asegura la eliminación de la mayor parte de las macropartículas. Se realiza en las clarificadoras.

En la **bactofugación** se aplica una velocidad de centrifugación mayor, consiguiendo eliminar además el 90% de ciertos tipos de bacterias como los Bacilos y los Clostridiums, que afectan en la elaboración de algunos quesos.

Elevando la temperatura de la clarificación y de la bactofugación (60-65°C) se disminuye la viscosidad de la leche y se aumenta el rendimiento de estos procesos.

La **homogenización** se aplica a la leche o a la crema para reducir el tamaño de los glóbulos de grasa evitando que asciendan a la superficie. Para ello, se envía la leche a través de un conducto parcialmente obstruido en su extremo a una presión de 250 a 350 kg/cm² y a una temperatura de 65-70°C,

lo que produce el estallido de los glóbulos de grasa contenidos en la leche. Puede aplicarse inmediatamente antes o después de la pasteurización.

Las operaciones de clarificación y homogenización se pueden efectuar simultáneamente mediante una **clarificadora**, que tiene un diseño semejante a las clarificadoras, pero dispone además de ciertos discos dentados que fraccionan los glóbulos de grasa.

Como para obtener nata se ha de calentar el producto a una temperatura adecuada, se realiza una **termización**. Se hace prolongando la higienización mediante una centrifugación más intensa.

La operación de **descremado** tiene como finalidad eliminar total o parcialmente el contenido de grasa de la leche. Se utiliza para ello una descremadora, que tiene un diseño parecido al de las clarificadoras. El descremado se realiza mediante una centrifugación más intensa, empleándose temperaturas de 30 a 35°C en situaciones óptimas. El descremado total busca la obtención de crema con alto contenido en materia grasa (40%), que se emplea para la elaboración de mantequilla. De esta manera se obtienen tres productos diferentes:

- Leche entera
- Leche descremada
- Nata

La leche entera y descremada se lleva a tanques de almacenamiento, donde se realiza la operación de **normalización**, que consiste en añadir leche entera a la leche descremada hasta obtener el producto con el contenido de grasa deseado. De esta manera se obtiene la leche normalizada. El siguiente paso es el enfriamiento de la misma hasta 4°C mediante el uso de un intercambiador. Posteriormente se almacena en frío en un depósito isoterma, donde se mantiene hasta su posterior utilización en otros procesos. Según el tratamiento que se le dé a la leche normalizada, podrá obtenerse leche pasteurizada o leche esterilizada y otros productos.

La leche debe someterse a un **tratamiento térmico** con objeto de eliminar los agentes microbianos causantes de enfermedades al hombre, destruir los microorganismos que afectan a la calidad de la leche y de sus subproductos y, por último, prolongar su tiempo de conservación. A continuación se analizan los dos tratamientos térmicos que persiguen estos fines.

Pasteurización

Todo tratamiento térmico inferior al punto de ebullición del agua, con el cual se exterminan los microorganismos patógenos, es un tratamiento de pasteurización. El equipo utilizado es el intercambiador de calor de placas.

Partiendo de los tanques de almacenamiento en frío, se bombea la leche normalizada al intercambiador, donde adquiere el calor necesario para la operación. Los métodos de pasteurizado usados son los que no precisan envasado previo. Entre éstos destacan los siguientes:

Pasteurización clásica

Se somete la leche a una temperatura entre 62°C y 65°C durante un periodo de 30 minutos. Mediante este tratamiento se eliminan los organismos patógenos y la totalidad de la flora banal. La leche que se somete a este proceso puede permanecer almacenada en recipientes herméticos durante un periodo

de una semana como máximo. Posteriormente se realiza un enfriamiento en un intercambiador de placas de dos secciones. En la primera sección se enfría el producto hasta 27°C utilizando agua de refrigeración y en la segunda desciende la temperatura hasta 4°C, mediante intercambio térmico con una solución refrigerante. Este proceso de pasterización clásica es un proceso lento, y es un método práctico solamente cuando el volumen a tratar es menor de 2.000 litros. Para volúmenes superiores, es preferible utilizar la pasterización rápida (H.T.S.T).

Pasterización H.T.S.T. (High Temperature, Short Time)

Se caracteriza por su corta duración. En el caso de que esta técnica se lleve a cabo sin recuperación de calor, el producto se calentaría hasta 79°C durante 16 segundos y el enfriamiento se realizaría en dos etapas: hasta 27°C con agua de refrigeración y hasta 4°C con solución refrigerante. Con recuperación de calor, se utiliza el producto de la pasterización caliente para elevar la temperatura de la leche normalizada desde 4°C hasta 61°C, aumentándose posteriormente hasta 79°C en un intercambiador de placas mediante un fluido calefactor (generalmente vapor). El producto de salida se enfría hasta 18°C en la sección de recuperación y después se enfría hasta 4°C, cediendo calor a una solución refrigerante. El efecto de la técnica H.T.S.T. consigue una desactivación parcial de las bacterias que permite conservar el producto durante una semana.

Otros posibles tratamientos someten la leche a temperaturas por encima del punto de ebullición del agua. Esto permite aumentar el tiempo de conservación de la leche sin necesidad de mantenerla bajo refrigeración y distribuirla en establecimientos que no precisan de un acondicionamiento especial. Son las leches ultrapasterizadas y esterilizadas.

Para obtener leche ultrapasterizada, ésta se somete a un tratamiento térmico entre 100 y 115°C durante un tiempo aproximado de 4 segundos, envasándose posteriormente en recipientes de cartón.



Figura 7. Envasadora.

Fuente: Cortesía de PERINOX.

Leche esterilizada y uperizada

La leche se somete a un tratamiento que emplea temperaturas mayores que en el caso de la pasterización, con lo cual puede conservarse durante un mayor periodo de tiempo al eliminarse todos los microorganismos.

La esterilización U.H.T. (Ultra High Temperature) o uperizado, es una técnica utilizada para la conservación de los productos, mediante la cual se destruye la totalidad de los microorganismos presentes en la leche mediante el tratamiento de la misma a temperaturas entre 130 y 150°C, durante un periodo de escasos segundos.

Existen dos métodos para llevar a cabo esta técnica: esterilización indirecta, en la que el calentamiento se produce en intercambiadores de placas; y esterilización directa, en la cual el calentamiento se produce mediante inyección de vapor. En el método indirecto se mantienen las

temperaturas elevadas durante un mayor periodo de tiempo que en el caso directo, aunque siempre durante un periodo de tiempo muy corto (del orden de segundos).

Finalizada la esterilización se procede al envasado final de la leche para su distribución.

2.2.2. Sector quesero

En el esquema de bloques siguiente (figura 8) se representa el proceso productivo del Sector Quesero.

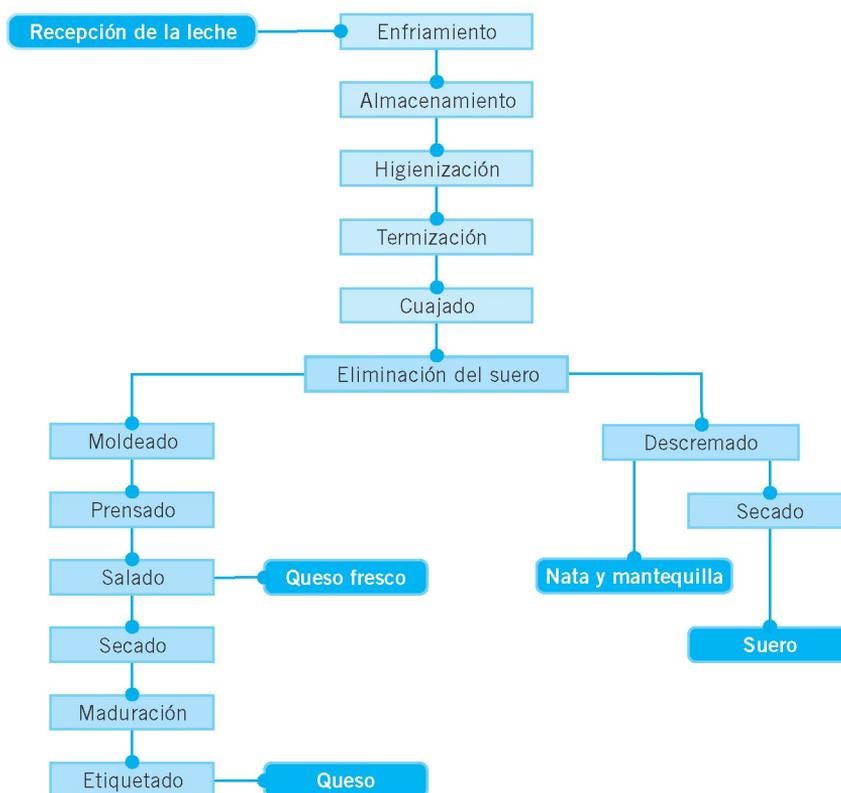


Figura 8. Proceso productivo del sector quesero.

Fuente: Elaboración propia.

El queso puede ser definido como el producto resultante de la concentración de una parte de la materia seca de la leche por medio de una coagulación. Existe una gran variedad de quesos, siendo muy difícil establecer una clasificación de los mismos, debido a que pueden intervenir multitud de variables distintas en su producción, como son la maduración, la textura y abertura, la consistencia, el método de manufactura y tratamiento de grano, etc.

Las industrias queseras comparten con las lácteas los procesos iniciales de recepción de la leche, enfriamiento, almacenado, higienización y termización.

En el **enfriamiento** la leche se mantendrá almacenada a una temperatura de unos 10°C, ya que temperaturas más bajas afectan a las propiedades del caseinato de calcio, que es un componente fundamental en la elaboración del queso.

La **termización** incluye una pasteurización que se realiza mediante un tratamiento a 70°C durante 15 ó 20 segundos si la pasteurización es rápida, o a una temperatura de 65°C durante 30 minutos si la pasteurización es lenta. Las bacterias saprófitas que son destruidas en el tratamiento de pasteurización, pero que son necesarias en la maduración del queso, se restituirán más adelante mediante la adición de fermentos lácteos.

Tras la termización, se procede al **cuajado** en tinas con el fin de reducir los sólidos esenciales a una forma concentrada. Esto se consigue mediante el desarrollo de bacterias productoras de ácido o por el cuajo. El cuajo se extrae del estómago del ternero o cabritos lactantes y se utiliza para la fabricación de la mayor parte de los quesos maduros, semiduros y duros. Sobre la cuajada se formarán gotas de suero que van aumentando en número y tamaño y que se unen para formar una capa líquida. La cuajada se vuelve poco a poco más firme y consistente.

Cuando el grano presenta la consistencia y las características apropiadas, se interrumpe la agitación y se le deja bajar al fondo de la tina para comenzar el **desuerado**.

A continuación, el grano acumulado en el fondo se **moldea y prensa**, para ser cortado posteriormente en bloques. Éstos se colocan en moldes, para dar al queso determinado formato y tamaño. Se hace en gran parte de acuerdo a la tradición, pero sobre todo según las exigencias del mercado. Al colocar la cuajada en los moldes, se revisten de tela o paño para facilitar la salida del suero y formar de esta manera la corteza del queso.

Algunos quesos son colocados en los moldes directamente, donde se produce una autocompresión debida a su propia masa. Si se utiliza esta técnica, debe darse la vuelta al molde con frecuencia para conseguir dicho efecto.



Figura 9. Cuba de cuajado.

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez, S.A.

Con posterioridad al moldeado y al prensado del queso, se lleva a cabo la **salazón** del mismo, con objeto de dotarle de un sabor que le haga más atractivo de cara al consumidor, además de dar al producto una mayor conservación, inhibir o retardar el desarrollo de microorganismos indeseables y seleccionar la flora normal del queso.

El formato y el tamaño del queso tienen gran influencia sobre la calidad final del producto, ya que la velocidad e intensidad de salazón, la proporción de pérdida de hume-



Figura 10. Moldes y proceso de moldeo.

Fuente: Cortesía de PERINOX.



Figura 11. Prensado.

Fuente: Cortesía de PERINOX.



Figura 12. Saladero.

Fuente: Cortesía de PERINOX.

dad por **evaporación**, la respiración o extensión de la permeabilidad gaseosa del queso, dependen de la relación entre la superficie y el volumen del queso.

Posteriormente se realiza el proceso de **maduración**. En ella se producen una serie de cambios de las propiedades físicas y del olor del queso, fruto de los cambios químicos de los diferentes componentes de la cuajada fresca.

Durante la maduración se dará la vuelta periódicamente al queso con el fin de que las superficies inferior y superior vayan quedando iguales y para que las pérdidas de humedad sean homogéneas en todo el queso. Este volteado debe ser más frecuente durante la primera semana. Además, deben controlarse la temperatura y humedad estrechamente, ya que una aceleración del proceso de maduración suele traer consigo un deterioro en la calidad del queso. La temperatura varía de 5 a 16°C según el tipo de queso. Las temperaturas altas aceleran la maduración mientras que las temperaturas bajas la retrasan.

La humedad se controla de acuerdo con la temperatura de la cámara. Son favorables grados de humedad que impidan la evaporación del contenido en agua del queso sin impedir que se forme la cáscara. Por medio de las manipulaciones de la cuajada obtenida, y mediante el uso de diferentes temperaturas y distintos agentes de maduración, es posible obtener una gran variedad de quesos diferentes.

Finalmente, será necesario preparar los quesos para su venta en el mercado, envolviéndolos en láminas de aluminio, revistiéndolos con plásticos, envasándolos en bolsas impermeables bajo vacío, etc., teniendo en cuenta que el tipo de envoltura afecta a la pérdida de humedad del queso.

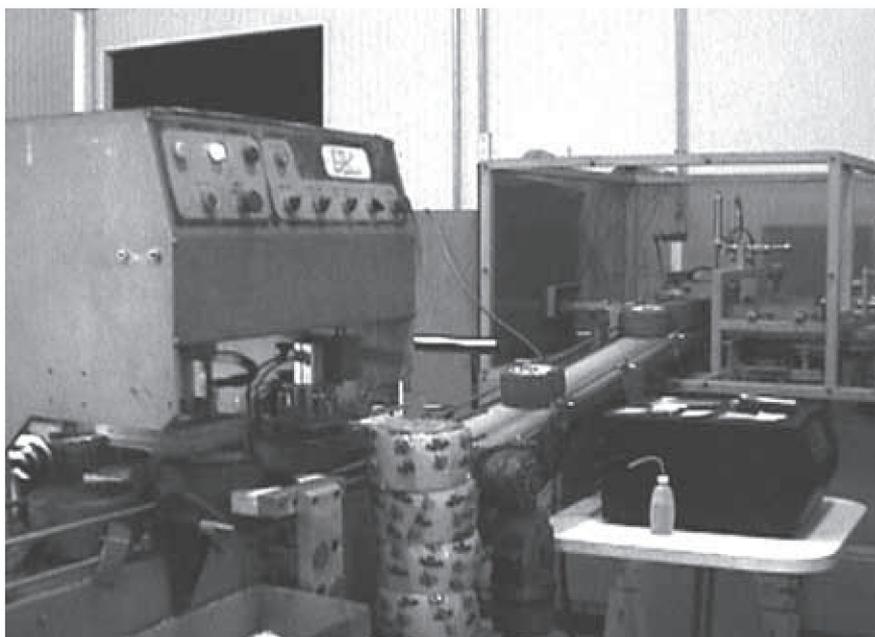


Figura 13. Proceso de envasado.

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez.

2.2.3. Subproductos y derivados

Si bien en la producción de queso, al igual que en la de leche, se obtienen como productos derivados mantequilla y nata, aparecen otros subproductos como son el suero, el yogur y el queso fresco.

A continuación se describe por separado el proceso productivo de cada uno de estos subproductos, obviando las etapas comunes con los procesos productivos de leche y queso que pueden consultarse en las figuras 5 y 8.

Nata

Para la obtención de nata existen diferentes procesos productivos tanto en el sector lácteo como en el quesero, pero puede destacarse la utilización de centrifugación, obteniéndose como subproducto **leche descremada**.

Mantequilla

La mantequilla se produce a partir de crema con alto contenido en materia grasa, la cual se pasteuriza a la temperatura de 95°C durante 15 ó 20 segundos, para enfriarse después hasta los 65°C aproximadamente y se refrigera hasta una temperatura que oscila desde los 5 a los 8°C. La crema se pasteuriza por separado a la temperatura de 95°C durante 15 ó 20 segundos, para luego ser enfriada a 21°C o a 7°C, según el índice de yodo de la grasa butírica.

Se almacenará hasta el siguiente paso del proceso, que consiste en elevar la temperatura hasta los 18°C y añadir los fermentos de la mantequilla. A continuación se separa el suero de la misma y queda lista para ser envasada. En la producción de queso, conviene que la leche contenga un alto porcentaje de caseína y grasa, sin embargo para la fabricación de mantequilla y crema interesa un alto contenido en grasa.

Yogur

Para la obtención de yogur, una vez que la leche ha sido pasteurizada, se enfría hasta una temperatura de 40°C. Posteriormente se añade el fermento y se mantiene en esta situación durante unas 3 horas.

Leche concentrada

La leche concentrada –también llamada leche evaporada o leche condensada– se obtiene mediante la eliminación parcial del agua. Se logra de esta forma una concentración de los sólidos y un aumento en el periodo de conservación, pudiendo ser almacenada durante un mayor tiempo o bien transportada a lugares lejanos respecto del lugar de producción.

Para que la leche concentrada pueda conservarse a temperatura ambiente, debe ser esterilizada o azucarada previamente. En su obtención se logra aumentar el porcentaje de sólidos desde el 12% original hasta un 24 ó un 36%.

Los procesos destinados a la producción de leche condensada tienen un consumo específico muy elevado y suelen realizarse a partir de leche descremada. Los aparatos utilizados para la concentración son los evaporadores. La tecnología actual tiende a lograr un mayor aprovechamiento energético del vapor empleado. Los evaporadores múltiples, con dos o tres etapas y vapor comprimido, son los modelos más económicos en cuanto a gasto de vapor.

Leche en polvo

Se obtiene a partir de la leche concentrada, efectuándose el proceso en torres de atomización. Después del atomizado aún se retiene de un 7 a un 8% de agua. Mediante un secado posterior se puede rebajar la cantidad sólo un 2 ó 3% de humedad. El secado se realiza a temperaturas de 250-300°C, con lo que se aumenta aún más la calidad bacteriológica del producto.

2.2.4. Consumos energéticos

Consumos energéticos por productos

La tabla siguiente resume, a título meramente orientativo, los consumos energéticos medios del sector lácteo quesero desglosados por productos.

Producto elaborado	Unidad	Energía eléctrica (kWh)	Energía Térmica (Te)
Leche pasteurizada	m ³	25-30	76-81
Leche Uperizada	m ³	55-60	145-155
Leche concentrada	m ³	37-42	725-750
Leche condensada	m ³	77-82	1.300-1350
Mantequilla	m ³	220-240	435-450
Nata	m ³	35-40	57-62
Yogur	m ³	50-55	445-460
Leche en polvo	t	425-450	5.700-5.800
Suero en polvo	t	440-465	4.200-4.500
Queso	t	265-285	3.900-4.200
Batidos	m ³	50-55	380-400

Tabla 5. Consumos específicos de productos lácteos.

Fuente: Técnicas energéticas en la industria láctea.

La diferencia entre el consumo directo y el consumo específico es debida a que el rendimiento de los procesos no es del 100% y se necesita un mayor aporte energético.

La influencia de los costes energéticos en el coste final del producto varía, en porcentaje, desde el 0,1% en la producción de nata hasta el 3,62% en la de suero en polvo, como se muestra en la tabla 6. Realizando una ponderación de dichos costes con la producción anual de las empresas castellano y leonesas, se llega a la conclusión de que los costes energéticos se sitúan entre el 1% y el 3% del coste final del producto.

Producto elaborado	% coste de la energía sobre el precio de venta
Leche Pasterizada	0,51
Leche Uperizada	1,64
Leche Concentrada	0,92
Leche Condensada	2,11
Mantequilla	1,32
Nata	0,13
Yogur	0,10
Leche en polvo	2,01
Suero en polvo	3,62
Queso	0,87

Tabla 6. Porcentaje de costes de la energía en el coste total del producto lácteo.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de 32 empresas.

Consumos energéticos por procesos

La pasterización, la esterilización, la concentración en evaporadores, el secado y la generación de vapor constituyen los principales procesos consumidores de energía en las industrias lácteas y queseras.

Proceso	Rendimiento (%)	Consumo
Pasterización	73,5	102,8 kJ/l leche
Esterilización	63,7	133,8 kJ/l leche
Concentración en evaporadores	53,7	502 kJ/kg agua evaporada
Secado en torres de atomización	28,0	836 kJ/kg agua evaporada
Generación de vapor	83,4	334,4 kJ de fuelóleo/t de vapor

Tabla 7. Consumos y rendimientos térmicos medios de procesos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de 32 empresas.

2.3. EQUIPOS DE PROCESO

Entre los equipos de proceso de los sectores lácteo y quesero más importantes, desde el punto de vista del consumo energético, cabe destacar los siguientes:

Pasterizadores y esterilizadores

Son intercambiadores de calor. En ellos se calienta la leche y se mantiene un cierto tiempo para llevar a cabo las operaciones de pasterizado o esterilizado. El agua caliente fluye a través de un canal y la leche a través del otro. Se produce una transferencia de calor del fluido caliente hacia el frío.

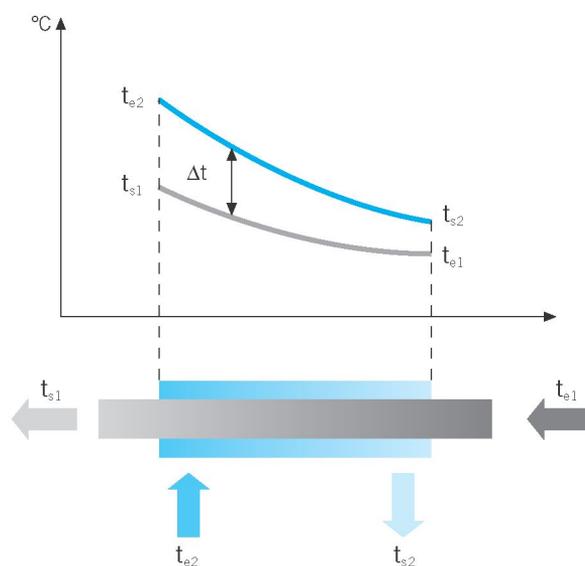


Figura 14. Esquema de temperaturas en un intercambiador de calor.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 14 se muestran los cambios de temperatura de los fluidos a su paso por el intercambiador. El agua (en azul en la figura) entra a una temperatura t_{e2} y se enfría hasta t_{s2} . A su vez, la leche (en gris) entra a una temperatura t_{e1} y sale a t_{s1} . A la hora de elegir un intercambiador de calor deberán tenerse en cuenta una serie de factores que se indican a continuación y que se relacionan mediante la fórmula:

$$A = \frac{Q \times \rho \times c_p \times \Delta t}{\Delta t_m \times k}$$

A= área de transferencia de calor

Q= caudal del producto

ρ = densidad del producto

c_p = calor específico del producto

Δt = cambio de temperatura del producto

Δt_m = diferencia de temperaturas media logarítmica

k= coeficiente global de transmisión

El cambio de temperatura vendrá dado por el proceso, mientras que la diferencia de temperaturas media logarítmica se calculará, de acuerdo a la notación de la figura, por la ecuación:

$$\Delta t_m = \frac{(t_{e2} - t_{s1}) - (t_{s2} - t_{e1})}{\ln \frac{(t_{e2} - t_{s1})}{(t_{s2} - t_{e1})}}$$

Este factor se utiliza debido a que la diferencia de temperatura entre los fluidos varía a través del intercambiador de calor. Sin embargo, también hay que tener en cuenta otros factores que no se han incluido en las fórmulas, que son las necesidades de limpieza y el tiempo de operación.

Para mejorar la transferencia de calor, el intercambio se realiza a contracorriente y las paredes suelen ser corrugadas. Además, se utiliza el calor de la leche caliente que sale para precalentar la leche fría entrante. Este método se llama **regeneración** y su eficiencia puede llegar hasta el 95% en la pasteurización. Viene dada por:

$$R = \frac{(t_r - t_e)}{(t_p - t_e)} \times 100$$

R= eficiencia de la regeneración %

t_r = temperatura de la leche después de la regeneración

t_e = temperatura de entrada de la leche cruda

t_p = temperatura de pasteurización o esterilización

Para asegurar que los tratamientos térmicos usados en las industrias láctea y quesera se desarrollan correctamente, es preciso que la leche alcance la temperatura adecuada y que se mantenga un cierto tiempo. El cálculo de la longitud del tubo para mantener la leche durante ese tiempo en el intercambiador se hará teniendo en cuenta los siguientes datos:

Q= caudal de leche (l/h)

TM = tiempo de mantenimiento

L= longitud del tubo de mantenimiento en dm

D= diámetro del tubo en dm

η = factor de eficacia (entre 0,8 y 0,9)

$$L = \frac{4}{\pi \times D^2} \times \frac{Q \times TM}{3600 \times \eta}$$

Hay varios **tipos** de intercambiadores. Casi todo el intercambio térmico en productos lácteos se realiza en **intercambiadores de placas**. Consta de un paquete de placas de acero inoxidable, sujetas por un bastidor. El medio de calentamiento es agua caliente, y el de enfriamiento puede ser agua fría, agua helada o glicolada, dependiendo de las temperaturas de salida requeridas para el producto. Los líquidos entran y salen de los canales a través de portillos situados en las esquinas de las placas. Las juntas colocadas en los bordes de las placas y de los portillos limitan los canales y evitan goteos.

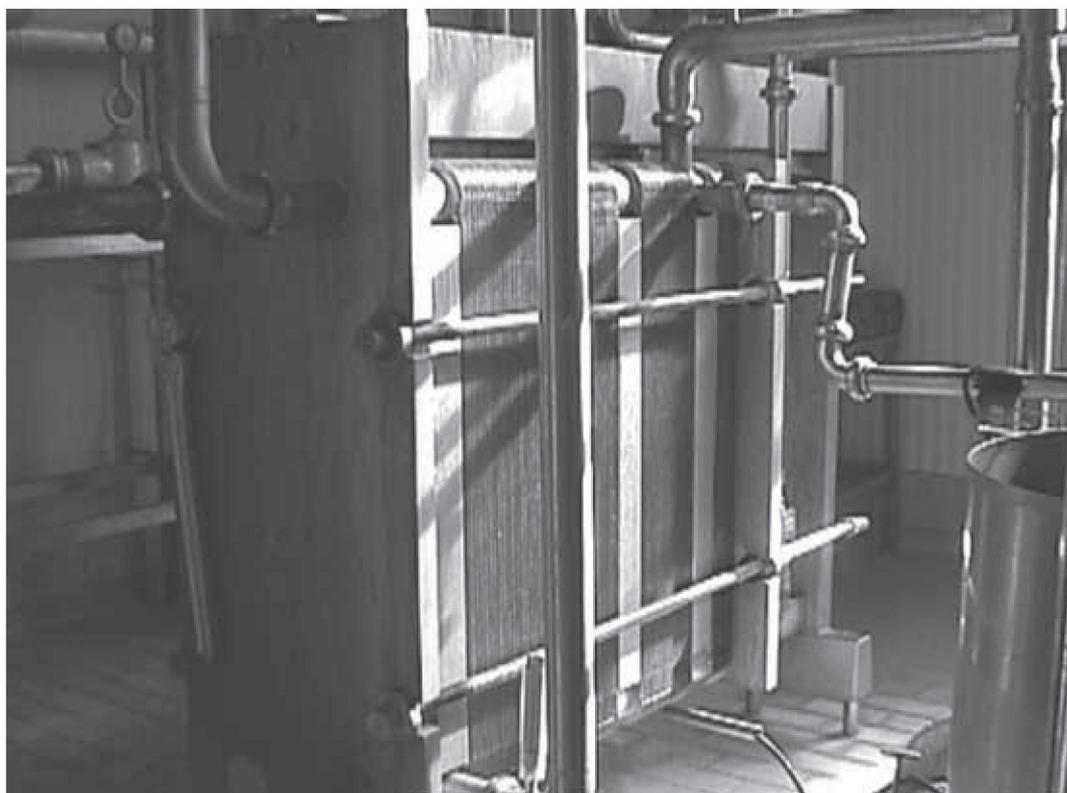


Figura 15. Pasterizador

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez, S.A.

Los **intercambiadores de calor tubulares** se utilizan en algunos casos en los tratamientos de pasterización y esterilización UHT. Pueden trabajar a presiones más altas que los de placas y funcionar durante más tiempo entre limpiezas. Sin embargo, son menos eficientes desde el punto de vista de transferencia de calor. Los hay multi/mono canal y mono multi/canal. Para productos viscosos, pegajosos y grumosos se utilizan intercambiadores de **superficie rascada**.

Ejemplo

A continuación se desarrolla un ejemplo de pasterizado de leche de 3.000 litros por hora. El producto se calienta desde 4 °C hasta 75 °C y se mantiene a esa temperatura durante 20 segundos, para posteriormente enfriarse hasta 32 °C mediante regeneración. Se utilizará un cambiador de placas APV, tipo H17 RKS16, alimentado por un flujo de 5.000 l/h de agua caliente a 78 °C.

El resto de datos que se usarán en las fórmulas son:

Densidad de la leche = 1.020 kg/m ³	Calor específico de la leche = 3,95 kJ/kg K
Densidad del agua = 990 kg/m ³	Calor específico del agua = 4,18 kJ/kg K
Cambio de temperatura: 71 °C	Diferencia de temperatura = 12,38 °C
Coefficiente de transferencia de calor:	5.000 W/m ² K ¹⁰

$$A = \frac{3.000 \times 1.020 \times 3,95 \times 71}{3.600 \times 12,38 \times 5.000} = 3,85 \text{ m}^2$$

Se utilizarán 44 placas de AISI 316 de 0,6 mm de espesor con juntas tipo nitrilo y un bastidor de acero inoxidable. La regeneración será:

$$R = \frac{47 - 4}{75 - 4} \times 100 = 60,6\%$$

siendo la temperatura de la leche después de la regeneración de 47 °C; si fuera de 70 °C, se llegaría al 93% de regeneración. La potencia calorífica se puede calcular con los datos de la leche o con los del agua como:

$$W = 3.000 \text{ l/h} \times 3,95 \text{ kJ/kgK} \times 1020 \text{ kg/m}^3 \times (75 - 47)^\circ\text{C} = 80.965,5 \text{ Kcal/h} = 94,01 \text{ kW}$$

$$W = 5.000 \text{ l/h} \times 4,18 \text{ kJ/kgK} \times 990 \text{ kg/m}^3 \times (78 - 61)^\circ\text{C} = 80.965,5 \text{ Kcal/h} = 94,01 \text{ kW}$$

Por último, la longitud del tubo de mantenimiento a la temperatura de pasterización será:

$$L = \frac{4}{\pi \times 0,485^2} \times \frac{3.000 \times 20}{3.600 \times 0,85} = 106,13 \text{ dm} = 10,6 \text{ m}$$

A continuación se recoge en una tabla el consumo energético de los distintos tratamientos que pueden tener lugar en pasterizadores y esterilizadores para este ejemplo (3.000 l/h, temperatura de entrada de 4 °C y regeneración a 47 °C).

Tratamiento Térmico	Temperatura	Tiempo	Δt (°C)	Potencia (kW)	Energía (kJ)
Terminación	34°C	15 s	30	100,7	1510,8
Pasterización LTLT	63°C	30 min	16	53,72	96.696
Pasterización HTST	75°C	20 s	28	94,01	1.410,15
Esterilización UHT	140°C	3 s	90	302	3109

Tabla 8. Consumo energético en intercambiadores de calor.

Fuente: elaboración propia.

10 Fuente. Manual de industrias lácteas. Tetra Pak Processing Systems AB, 1996.

Concentradores

Los concentradores se utilizan para la obtención de leche condensada, concentrada y en polvo. La operación de concentración se realiza en evaporadores de efecto múltiple, en los que se elimina agua por evaporación, lo que conlleva un elevado consumo térmico específico. Por esta razón, se debe prestar atención a ciertas tecnologías capaces de reducir este consumo, tales como el aumento del número de efectos o las técnicas de termocompresión.

Los factores que influyen en el proceso de concentración son:

- La temperatura máxima del producto, que no debe superar los 70-75 °C por los problemas de degradación de proteínas.
- La viscosidad, que debe mantenerse en unos niveles que permitan el flujo correcto a través de los equipos.
- El número máximo de efectos, condicionado por razones técnicas, debiéndose mantener el producto en un rango de temperaturas adecuado que oscila entre 40 y 70 °C. Con temperaturas menores a 40°C se precisa una excesiva cantidad de agua de refrigeración.
- El consumo específico y la tecnología.

Aunque depende del número de efectos del equipo concentrador, el consumo específico varía entre los 200 y los 650 kJ/kg de agua evaporada.⁷

Secaderos

La obtención de leche en polvo se realiza mediante secado en torres de atomización. En estos equipos se vierte una cantidad importante de aire húmedo a la atmósfera, aproximadamente a 90 °C.

Las técnicas para reducir el consumo energético se basan en:

- Recirculación parcial del aire húmedo caliente de salida.
- Aprovechamiento del calor sensible del aire caliente, para precalentar el aire de secado.
- Realización del secado en dos etapas, efectuándose la primera en torres de atomización y la segunda en secaderos de lecho fluidizado.

El consumo energético de un secador en una etapa puede variar entre los 3,4 MJ por kilogramo de producto y los 4,9 MJ/kg dependiendo del número de efectos.¹¹

Equipos de lavado

Se utilizan para dos funciones diferenciadas: el lavado de la propia instalación y el lavado de los envases de vidrio. Puesto que éstos últimos han sido sustituidos por otro tipo de envases y ya casi no se utilizan, la mayor parte del consumo de agua caliente en los procesos de limpieza se sitúa en la limpieza de la instalación.

En la actualidad y con el fin de recuperar el calor de las aguas residuales, se utiliza un sistema centralizado, que permite realizar la operación de limpieza sin desmontar los equipos: cleaning in place (CIP).

¹¹ Fuente: Review of Energy Efficient Technologies in the Dairy Industry Sector. Energy Centre Denmark, 1992.



Figura 16. Sistema CIP.

Fuente: Cortesía de Lecherías del Noroeste, S.A.

El CIP consta de las siguientes etapas:

- Preenjuagado con agua fría, de modo que el producto que queda en las tuberías es evacuado.
- Enjuagado con solución alcalina a una temperatura aproximada de 80 °C.
- Enjuagado con agua fría.
- Enjuagado con solución ácida a 70 °C, aproximadamente.
- Enjuagado con agua fría.

La duración del proceso dependerá, fundamentalmente, del equipo que está siendo limpiado. Para tanques lleva unos 30 minutos, mientras que para los evaporadores sería necesario un periodo de entre 4 y 5 horas. El tiempo de limpieza puede ser reducido en algunos casos mediante la introducción de una solución ácida anterior a la limpieza con la solución alcalina, lo que puede eliminar los posibles depósitos minerales acumulados.

Ejemplo

En este ejemplo se describirá una unidad de limpieza CIP¹² totalmente automatizado, de dos líneas, para impulsar 15.000 l/h de agua o soluciones de limpieza a una presión de impulsión de 3,5 kPa.

La unidad está formada por:

¹² Fuente: APV

- Tres tanques de 3.000 l de acero inoxidable AISI 304 laminado en frío, dos de ellos isoterms destinados a almacenar la sosa y el ácido, y el otro para acumulación de agua.
- Dos bombas centrífugas para la recirculación de los detergentes de 4,04 kW, con un caudal de 15.000 l/h y una presión de impulsión de 350 kPa.
- Dos bombas para impulsar las soluciones de limpieza con un caudal de 8.000 l/h a 200 kPa y una potencia de 1,47kW.
- Dos bombas para dosificar la adición de concentrado.
- Una línea de vapor que incluye válvula de cierre, purgador de condensados, filtro, válvula de seguridad, dos electroválvulas para apertura y cierre de la entrada de vapor a los tanques, tubería y accesorios.
- Panel de control y microprocesador ACCOS 3 MLC que controla los elementos automáticos, con almacenamiento de diversos tiempos y temperaturas, así como de los programas de limpieza deseados.
- Sondeas de conductividad e interruptor de flujo como elementos de control.
- Válvulas de mariposa y otros elementos de interconexión.

El sistema requiere una potencia eléctrica de 7 kW, una línea de aire comprimido a 5,5 kPa y 320 kg/h de vapor saturado. Con lo que el consumo diario de energía eléctrica será de 30 kWh y el de energía térmica de 920 kJ para un tiempo de funcionamiento de la unidad de 4 horas y media.

Equipos de centrifugación y refrigeración

Estos equipos consumen un alto porcentaje de la energía eléctrica demandada en la totalidad de las instalaciones.

Para la clarificación y desnatado se utilizan máquinas centrifugadoras de alta velocidad de rotación. En el caso de la centrifugación, se tienden a emplear sistemas de descarga continua y autolimpieza, que incrementan la eficacia del equipo.

Los equipos frigoríficos son necesarios para la conservación del producto a bajas temperaturas y para enfriar el agua, oscilando los rendimientos teóricos entre un 82 y un 89%.

Rendimiento térmico de equipos

El rendimiento de las operaciones básicas que implican un intercambio calorífico, depende de la eficiencia del equipo intercambiador de calor y está relacionada con el porcentaje de reutilización del calor.

En la siguiente tabla se recogen los rendimientos térmicos medios de los equipos de proceso:

Equipos	Rendimiento medio
Pasterizadores	73,5
Esterilizadores	63,7
Evaporadores	53,7
Torres de atomización	28,0

Tabla 9. Rendimiento térmico de equipos de proceso.

Fuente: Técnicas Energéticas en la Industria Láctea.

2.4. TECNOLOGÍAS HORIZONTALES

Existen técnicas energéticas genéricas del sector lácteo y del sector quesero, que aparecen habitualmente como elementos auxiliares de producción, aunque participando de características comunes con amplitud de sistemas productivos. Estas técnicas pueden encuadrarse en tres grandes grupos:

- Generación y distribución de vapor.
- Generación y distribución de frío.
- Generación y distribución de aire comprimido.
- Componentes eléctricos.

Generación de vapor

Si bien en alguno de los procesos de pasteurizado se emplea vapor de alta presión, lo más usual en los sectores lácteo y quesero es que la transmisión de calor se realice en forma de vapor a baja presión.

Generación de vapor de baja presión

Las calderas normalmente utilizadas para la generación de vapor en las industrias lácteas son del tipo pirotubular de pequeña y mediana potencia. Una caldera típica produce 3.000 kg de vapor por hora con presiones de generación de entre 900 y 1.100 kPa (9,2 a 11,2 kg/cm²).¹³

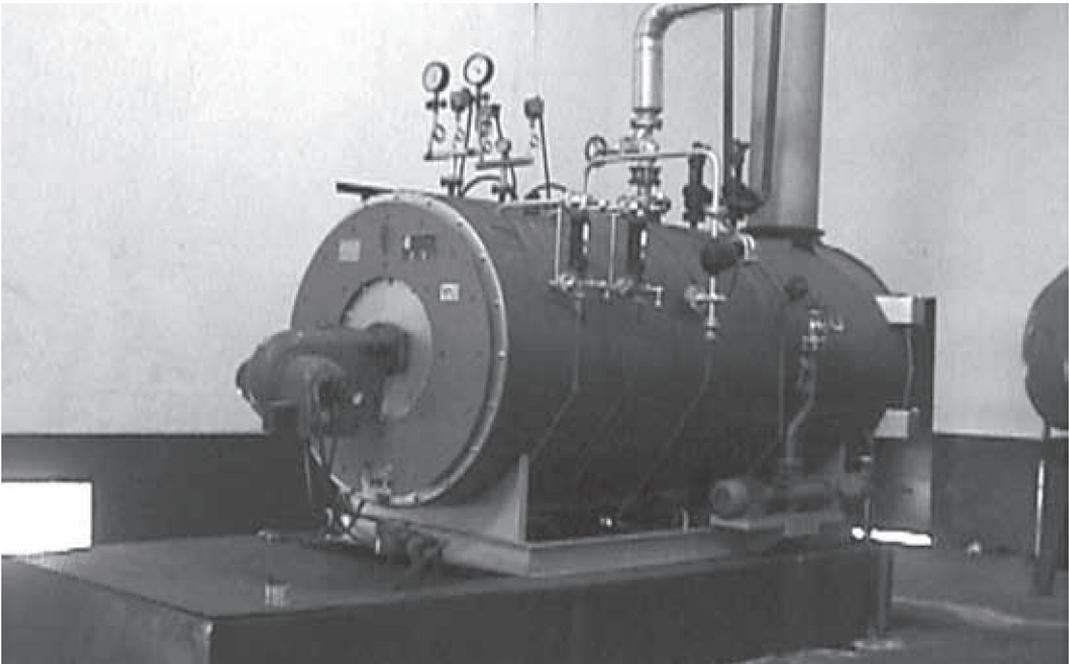


Figura 17. Caldera pirotubular.

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez, S.A.

¹³ Fuente. Manual de industrias lácteas. Tetra Pak Processing Systems AB, 1996.

En las calderas pirotubulares, llamadas así porque los gases de combustión circulan por el interior de tubos rodeados de la masa de agua a vaporizar, destacan los siguientes circuitos:

- Circuito de combustible y gases: que comprende el quemador, la cámara de combustión, los tubos de humos y la chimenea.
- Circuito de agua vapor, que comprende tratamiento, bombeo, cámara de agua-vapor, válvulas de seguridad y sistemas de purgas.

Entre los aspectos más comunes a tener en cuenta para el buen funcionamiento de los generadores de vapor están:

- La vigilancia de la combustión.
- El tratamiento del agua de alimentación.
- El sistema de purgas.
- La programación de las limpiezas.

Los **rendimientos energéticos** con los que trabajan las calderas de este tipo de industrias oscilan entre el 80 y el 92%¹⁴, dependiendo del control y mantenimiento de los equipos y la antigüedad de los mismos.

Otro aspecto que influye en el consumo energético es el de las **purgas**. Se requiere una menor cantidad de purgas donde son mejores las características del agua de alimentación y el control de aquellas más cuidadoso, manteniéndose siempre unos niveles mínimos por seguridad de la instalación. Se puede indicar como valor habitual de pérdidas de calor por purgas entre un 2 y un 4%, dependiendo de la calidad del agua, si bien existe bastante disparidad y se aprecia un bajo control de las mismas.

Distribución de vapor

Las presiones de uso del vapor en la Industria Láctea se sitúan entre los 270 y los 685 kPa (2,8 a 7 kg/cm²) a temperaturas de entre 140 y 150°C.

Desde la válvula de salida de la caldera se alimenta al colector principal, partiendo desde aquí las líneas generales de distribución.

La potencia media consumida en la generación de un kilogramo de vapor en el sector lácteo quesero es de 2.260kW y las pérdidas de calor en la red de distribución pueden alcanzar hasta el 15%, por lo que el aprovechamiento total del combustible se sitúa entre el 65 y el 77%¹⁵.

Generación y distribución de frío

Como se observa en la figura 18, las partes principales de una instalación frigorífica por compresión son el evaporador, el compresor, el condensador y la válvula de expansión.

El **evaporador** es la parte de la instalación donde se produce el cambio de estado –líquido a gas– del fluido frigorígeno, absorbiendo calor del aire, agua, etc. Los hay de varios tipos:

14 Fuente. Manual de industrias lácteas. Tetra Pak Processing Systems AB, 1996.

15 Fuente. Manual de industrias lácteas. Tetra Pak Processing Systems AB, 1996..

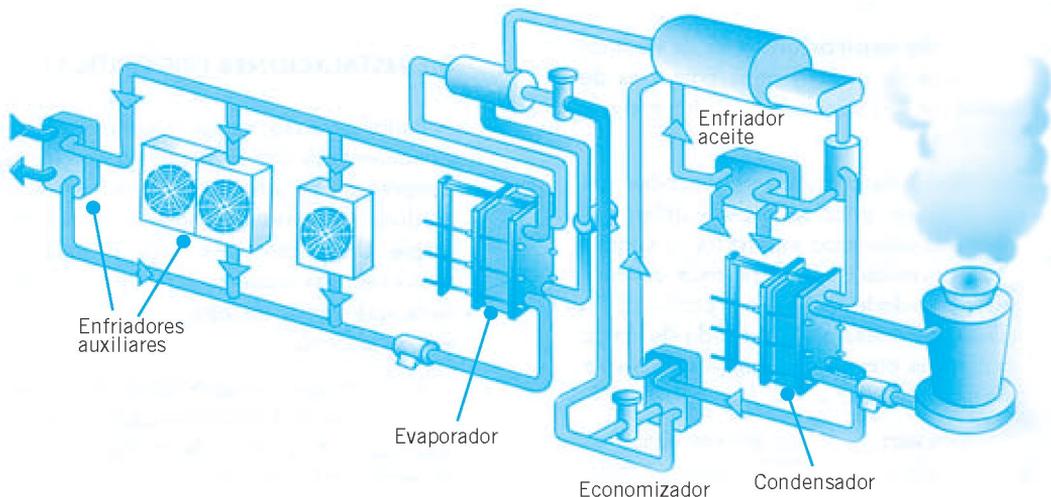


Figura 18. Instalación frigorífica de compresión mecánica.

Fuente: Eficiencia energética en la pequeña y mediana industria.

- Evaporadores con circulación de aire, donde el refrigerante circula por aletas, alrededor de las cuales pasa aire que de este modo se enfría. Este tipo de equipos se emplea en las instalaciones de aire acondicionado.
- Evaporadores tubulares, utilizados para el enfriamiento de agua y leche. El fluido frigorígeno circula por el interior de tubos, mientras que el líquido a enfriar baña a esos tubos. En este tipo de aparatos el agua se puede enfriar a temperaturas por encima de 0 °C para que se mantenga en estado líquido. Sin embargo si se le añade sal, etanol o glicol, se produce un descenso crioscópico, pudiendo entonces ser enfriada por debajo de 0 °C.
- Evaporadores por inmersión, donde se deja que el agua se convierta en hielo (habitualmente en horas nocturnas, en las que la energía eléctrica es más barata) para que posteriormente funda y se mantenga a 0,5 °C.
- El **compresor** aumenta la presión del fluido frigorígeno que procede del evaporador, lo que produce también el aumento de su temperatura. En instalaciones pequeñas y medianas –desde 0,1 hasta 300 kW– suelen emplearse compresores de pistones, mientras que en grandes plantas de más de 500 kW se utilizan compresores de tornillo.



Figura 19. Evaporadores tubulares.

Fuente: Cortesía de S.A.T. GAZA.

Desde el compresor, el fluido frigorígeno comprimido y caliente, pero aún en estado gaseoso, pasa al condensador, en donde el calor absorbido por el fluido frigorígeno en el evaporador, junto con el incorporado durante el proceso de compresión, se eliminan por enfriamiento.

Según el tipo de refrigerante utilizado, los condensadores se clasifican en:

- Condensadores enfriados por aire, que se solían utilizar en pequeñas instalaciones, pero que en la actualidad también se incorporan en plantas mayores para ahorrar agua.
- Condensadores enfriados por agua, que suelen ser de tipo tubular. El agua pasa por el interior de los tubos, mientras que el fluido frigorígeno circula por fuera, por lo que se condensa en el exterior de los tubos. Para reducir el consumo de agua ésta se reutiliza, enfriándola en torres de refrigeración. Como parte del agua se pierde por evaporación, es preciso suministrar agua a la torre en pequeñas cantidades.

Entre los tipos de instalaciones de refrigeración más habituales en industrias lácteas y queseras de Castilla y León pueden destacarse los siguientes:

- Cámaras de refrigeración y congelación, donde se mantienen los productos mediante un equipo productor de frío, con un aislamiento suficiente para mantener la temperatura deseada.
- Armarios de refrigeración y congelación. En ellos el frío es distribuido uniformemente en el interior por ventiladores que hacen circular el aire sobre los productos.
- Congeladores de placas. Constan de una serie de placas huecas por donde circula un fluido refrigerante a baja temperatura. El producto se coloca sobre las placas de forma que nunca esté en contacto directo con el fluido.
- Túneles de congelación. En ellos el aire circula a bajas temperaturas, entre -20 y -40 °C, y a velocidades entre 5 y 20 m/s.

Ejemplo

Planta de frío para una empresa que produce yogures, leche y queso. El volumen de refrigerante es de 1.800 kg de amoníaco y la potencia frigorífica es de 4,04 kW. Se utilizan 8 compresores de 55 kW para producir agua helada, funcionando por término medio 16,5 horas al día. El consumo diario de energía es de 10.994 MJ y la energía extraída del foco frío es de 32.303 MJ, con lo que el COP (coeficiente de funcionamiento de la instalación) resulta ser de:

$$\text{COP} = \frac{32.303}{10.994} = 2,94$$

Generación y distribución de aire comprimido

En los sectores lácteo y quesero se utiliza aire comprimido en equipos de maniobra y en los propios procesos de fabricación –esterilización, transporte, etc.

Una planta de aire comprimido consta, generalmente, de los siguientes elementos:

- **Instalación de aspiración de aire:** en compresores de baja potencia se toma el aire de la propia sala y en los de mayor potencia del exterior, normalmente desde la parte superior de la fábrica, con el fin de disminuir ruidos. A fin de minimizar pérdidas, se requiere un dimensionamiento adecuado respecto a la sección y a la longitud de los conductos, que permita una velocidad del aire del orden de 5 a 7 m/s.

- **Filtros de aspiración:** para eliminar la presencia de polvo y otras partículas de suciedad, el aire aspirado se hace pasar por un filtro. Los filtros comúnmente utilizados son los de laberinto y los de papel y deben garantizar una adecuada separación y capacidad de acumulación que permita eliminar grandes cantidades de polvo y partículas sin disminuir sensiblemente su capacidad de carga y sin que sea precisa una limpieza excesivamente frecuente del mismo.
- **Compresor** El tipo de compresor más habitual en estos sectores es el compresor de tornillo, que consta de dos rotores que comprimen el aire entre los lóbulos helicoidales y las cámaras de los rotores. Uno de los rotores actúa con sus lóbulos macho, consumiendo la mayor parte de la energía de accionamiento necesaria, en torno al 90%, de modo que al girar encaja los lóbulos en los huecos del rotor hembra que consume el 10% restante. Los compresores de tornillo tienen compresión interna y carecen de válvulas.

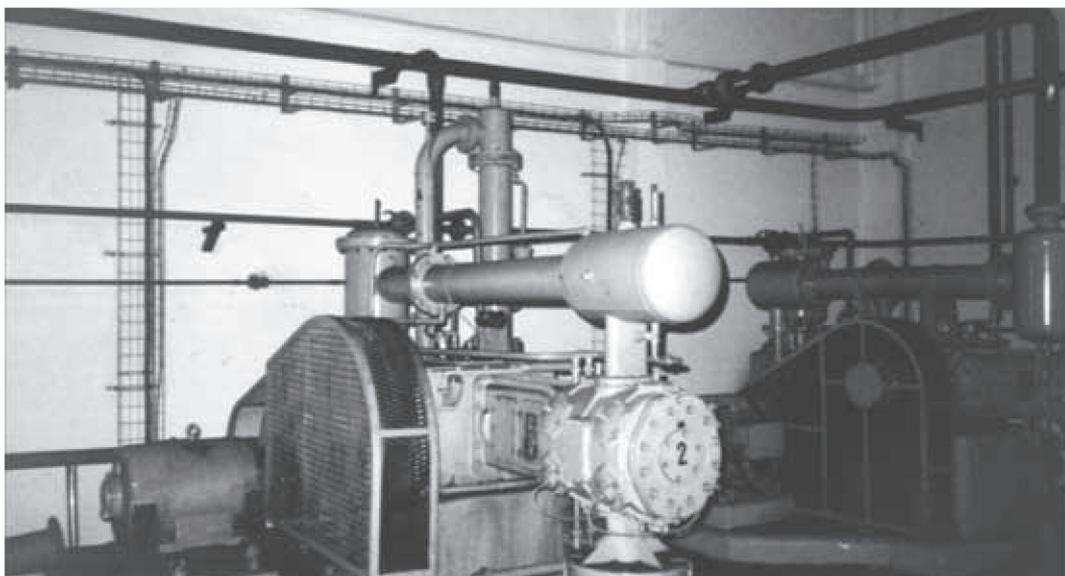


Figura 20. Compresor.

Fuente: Cortesía de Lecherías del Noroeste, S.A.

- **Refrigerador de aire.** Previo al depósito de acumulación y después de la salida de aire al compresor, se suele situar un refrigerador que consigue precipitar parte de la humedad y del aceite arrastrado por el aire, siendo eliminado mediante el drenaje inferior del equipo. La refrigeración del aire comprimido puede realizarse mediante el uso de agua o aire.
- **Depósitos de aire.** El aire comprimido y refrigerado es almacenado en un depósito que permita satisfacer las puntas de demanda superiores a la capacidad del compresor, así como recoger posibles residuos de condensado y aceite y evitar ciclos de carga y descarga en el compresor demasiado cortos. Al tratarse de un recipiente a presión debe estar dotado de los elementos de seguridad necesarios, entre los que destaca una válvula de seguridad, un manómetro y una válvula de drenaje.
- **Válvulas de seguridad.** Se debe dotar al compresor de un sistema de alivio a fin de limitar la presión de descarga a un valor máximo.

No son equipos con un consumo importante de energía, excepto en las empresas de gran tamaño y automatizadas.

Componentes eléctricos

Los componentes eléctricos más habituales en los sectores lácteo y quesero son: generadores de energía eléctrica, disyuntores, transformadores, rectificadores, conductores y motores.

En la siguiente tabla se indican las pérdidas energéticas de estos equipos.

Componentes principales	(%) Pérdidas energéticas (plena carga)
Generadores	0,09-3,50
Transformadores	0,4-1,9
Centros de control de motores	0,01-0,4
Cables	1-4
Motores	
1-10 CV	14-35
10-200 CV	6-12
200-1.500 CV	4-7
Rectificadores	3-9
Iluminación	3-9

Tabla 10. Intervalo de pérdidas eléctricas a plena carga.

Fuente: Elaboración propia.

3. APROVISIONAMIENTO

El aprovisionamiento energético comprende la elección de las fuentes de energía, la negociación con los suministradores, la recepción y el control de los pedidos, y, si procede, su almacenamiento y distribución.

El principal objetivo es adquirir la energía en las mejores condiciones de precio y calidad de suministro, asegurando que el contrato con las compañías suministradoras sea óptimo para la empresa. En este sentido, habrán de evaluarse, entre otros, los siguientes aspectos:

- Modificaciones en la reglamentación, legislación y tarifas, realizando un análisis de sus posibles efectos.
- Variaciones tecnológicas en los equipos o procesos productivos.
- Calidad y fiabilidad del suministro.
- Flexibilidad de los contratos.
- Posibilidad de introducir fuentes de suministro alternativas.

La estructura del aprovisionamiento energético vendrá condicionada tanto por factores internos como por factores externos a la empresa -analizados en detalle en los puntos 3.1 y 3.2- y por la posibilidad de introducir cogeneración, analizada en el apartado 3.3.

3.1. CONDICIONANTES INTERNOS

Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Estructura de consumo en la fábrica.
- Sustitución de fuentes de energía por otras convencionales.
- Posibilidad de utilizar energías renovables.

Sustitución de fuentes de energía por otras convencionales

El consumo de fuelóleo y gasóleo conlleva su almacenamiento y por lo tanto la existencia in situ de depósitos de combustible. El coste de estos depósitos y de su mantenimiento, así como motivos medio ambientales, junto con el desarrollo de la red de gaseoductos en nuestra Comunidad Autónoma, han propiciado que, en los últimos años, se detecte un incremento en el consumo de gas natural frente a los combustibles líquidos.

La sustitución de energía eléctrica por energía térmica es mucho menos significativa y se reduce, casi exclusivamente, al ámbito de los sistemas de calefacción.

La tabla siguiente resume las ventajas y los inconvenientes de la utilización de combustibles líquidos, gas natural y energía eléctrica.

	Ventajas	Inconvenientes
Combustibles Líquidos	Mercado liberalizado	Impacto medioambiental. Coste del transporte. Almacenamiento. Costes del mantenimiento y limpieza de los equipos.
Gas Natural	No requiere almacenamiento No hay costes de transporte Menor coste de mantenimiento Menor impacto medio ambiental	Precios elevados para pequeños consumidores. Riesgo de fugas.
Energía Eléctrica	Buen rendimiento de utilización Bajo coste de mantenimiento Mercado liberalizado	Precio alto en general y en particular para pequeños consumidores.

Tabla 11. Ventajas e inconvenientes de combustibles y de la energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia.

Energías renovables

El Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010 constituye la revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010. Con esta revisión se trata de mantener el compromiso de cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de la energía en 2010, así como incorporar los otros dos objetivos indicativos -29,4% de generación eléctrica con renovables y 5,75% de biocarburantes en transporte para ese año- adoptados con posterioridad al anterior plan.

La utilización de energías renovables se encuentra aún en fase de desarrollo en estas industrias, por lo cual no condiciona en la actualidad la estructura de su aprovisionamiento energético, si bien no hay que dejar de contemplar sus posibilidades, dado que los costes de las infraestructuras necesarias están en continuo descenso. En la actualidad se aprovecha energía solar térmica fundamentalmente para usos de lavado.

3.2. CONDICIONANTES EXTERNOS

Son varios los factores externos a la empresa que condicionan su política de aprovisionamiento energético. Entre ellos cabe destacar los siguientes:

- Estructura regional y local del suministro energético.
- Tarifas de los diferentes tipos de energía.
- Marco legal actual.
- Tendencias del mercado.

Estructura regional y local del suministro energético

El consumo de **gas natural** viene condicionado por el desarrollo de su red de distribución en Castilla y León. Son varias las empresas interesadas en la utilización de este combustible, aunque deben descartar su utilización por estar fuera de la red de distribución y encarecer el transporte el suministro desde una planta de GNL.

En el aprovisionamiento de **fuelóleo**, al estar liberalizado el mercado, las empresas pueden acudir al suministrador que crean más adecuado. Los criterios de selección suelen ser precio, calidad y fiabilidad, generalmente en ese mismo orden.

El aprovisionamiento de **gasóleo**, al igual que el fuelóleo, se realiza por cisternas completas. Es decir, se programan entregas del mayor volumen posible para reducir su coste.

El Real Decreto 1634/2006, de 29 de diciembre, establece la tarifa **eléctrica** a partir del 1 de enero de 2007, expuesta más adelante en la Tabla 14. Sin embargo, con fecha 1 de enero de 1998, el sector eléctrico se encuentra liberalizado, lo que quiere decir que consumidores cualificados pueden optar a contratar energía eléctrica fuera del sistema tarifario publicado en el B.O.E. La ley 54/1997, de 27 de noviembre, del sector eléctrico, constituye el marco regulatorio para el sistema eléctrico liberalizado de alta tensión.

Tarifas de los diferentes tipos de energía

Los precios del **fuelóleo** y del **gasóleo** vienen fijados por el mercado y dependen básicamente del momento de la compra y del volumen de la misma.

La tarifa para el **gas natural** viene fijada por ley y se publica mensualmente en el B.O.E. A título de ejemplo se muestran los valores que regían en el mes de enero del 2006 para uso industrial.

TARIFAS DE GAS NATURAL	TÉRMINO FIJO		TÉRMINO VARIABLE
Tarifas grupo 2 (4 bar < P ≤ 60 bar)	(€/Cliente)/mes	(€/kWh/día)/mes	€/kWh
2.1 Consumo ≤ 500.000 kW/año	135,07	0,037460	0,021864
2.2 500.000 kW/año < Consumo ≤ 5.000.000 kW/año	135,07	0,037460	0,021852
2.3 5.000.000 kW/año < Consumo ≤ 30.000.000 kW/año	0,00	0,048163	0,021634
2.4 30.000.000 kW/año < Consumo ≤ 100.000.000 kW/año	0,00	0,045487	0,021540
Tarifas grupo "2 bis" (P ≤ 4 bar) Consumidores industriales suministrados a menos de 4 bar a los que se les aplica las tarifas del grupo 2	(€/Cliente)/mes	(€/kWh/día)/mes	€/kWh
2.1 Consumo ≤ 500.000 kW/año	135,62	0,037612	0,021953
2.2 500.000 kW/año < Consumo ≤ 5.000.000 kW/año	136,52	0,037862	0,022087
2.3 5.000.000 kW/año < Consumo ≤ 30.000.000 kW/año	0,00	0,048758	0,021901
2.4 30.000.000 kW/año < Consumo ≤ 100.000.000 kW/año	0,00	0,046150	0,021853
CAUDAL DE CONTADOR	TARIFA DEL ALQUILER		
Hasta 3 m³/h	0,59 €/mes		
Hasta 6 m³/h	1,08 €/mes		
Superior a 6 m³/h	12,5 por 1.000 del valor medio del contador		
CAUDAL DE CONTADOR (m³/h)	VALOR MEDIO (€)		
Hasta 10	181,89		
Hasta 25	334,78		
Hasta 40	649,27		
Hasta 65	1.326,33		
Hasta 100	1.795,59		
Hasta 160	2.816,42		
Hasta 250	5.960,55		

Tabla 12. Tarifa industrial para el gas natural, I.V.A. excluido.

Fuente: B.O.E. de 30/12/2005.

Ejemplo de Cálculo de una Factura de Gas Natural.

El consumo de gas natural, suministrado a 4 bares de presión, de una empresa láctea a lo largo del mes de Febrero de 2007 ascendió a 355.014 kWh con 23 días de utilización. Con estos datos puede calcularse la factura para dicho mes utilizando los datos de la Tabla 12:

CONCEPTO	CANTIDAD		PRECIO (€)	IMPORTE (€)
Consumo Gas	355.014 kWh	34.041 m ³	0,021953	7,841
Término Fijo	1 mes		135.62 + 456.88	612,88
Alquiler de Contador	1 mes		16,58	16,58
Total (€)				8.470,08

Tabla 13. Ejemplo de factura de gas natural. No se contempla el IVA (16%).

Fuente: Elaboración propia.

Términos Principales de la Factura Eléctrica

En la Tabla 14 se muestra la relación de **tarifas eléctricas** básicas aplicables con los precios de sus términos de potencia y energía según el B.O.E. número 312, de 30 de diciembre de 2006.

TARIFAS Y ESCALONES DE ALTA TENSIÓN	TÉRMINO DE POTENCIA T_p : € / kW mes	TÉRMINO DE ENERGÍA T_e : € / kWh
TARIFAS GENERALES		
<i>Corta utilización</i>		
1.1 General no superior a 36 kV	2,271918	0,078284
1.2 General mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	2,148523	0,073505
1.3 General mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	2,075938	0,071338
1.4 Mayor de 145 kV	2,017871	0,068947
<i>Media utilización</i>		
2.1 No superior a 36 kV	4,697183	0,071749
2.2 Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	4,441901	0,067172
2.3 Mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	4,296025	0,065220
2.4 Mayor de 145 kV	4,186618	0,063119
<i>Larga Utilización</i>		
3.1 No superior a 36 kV	12,532584	0,059690
3.2 Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	11,719066	0,056200
3.3 Mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	11,359945	0,054032
3.4 Mayor de 145 kV	11,015481	0,052558

Tabla 14. Tarifas eléctricas.

Fuente: B.O.E. 30/12/2006.

La facturación puede expresarse de forma aproximada por:

$$P_{ec} = k_f P_f + k_e E$$

donde:

P_{ec} es el precio a abonar a la compañía suministradora por la energía consumida en euros.

E es la energía consumida en kWh durante el periodo de facturación.

k_i es el precio del término de potencia en €/kW/mes, constante para cada tarifa i .

P_f es la potencia a facturar en kW.

k_c es el precio del término de energía en cada tarifa en €/kWh.

• Término de energía: $T_e = k_c E$ coste de los kWh consumidos en el período de facturación.

• Término de potencia $T_p = k_i P_f$ coste del nivel de potencia contratado.

La potencia facturable (P_f) se determina en función de la potencia contratada (P_c) y la máxima del período que registre el máxímetro (P).

En el cálculo de P_f se distinguen cuatro casos:

Si no se dispone de máxímetro $P_f = P_c$.

Si $0,85P_c < P < 1,05P_c$, entonces $P_f = P$.

Si $P < 0,85 P_c$, entonces $P_f = 0,85P$.

Si $P > 1,05 P_c$, entonces $P_f = P + 2(P - 1,05 P_c)$.

La facturación será:

Potencia $P_f \times T_p$ Energía $E \times T_e$.

Siendo T_p el término del precio de la potencia, E la energía consumida y T_e el término del precio de la energía.

Complementos

Discriminación horaria

$$DH = T_e \times \sum \frac{Ew_i \times C_i}{100}$$

DH= Recargo o descuento en €.

Ew_i = Energía activa consumida en cada uno de los períodos horarios definidos para cada tipo de discriminación horaria, en kWh.

C_i = Coeficiente de recargo o descuento de cada período horario según su tipo de discriminación.

T_e = Precio del término de energía de la tarifa general de media utilización correspondiente a la tensión de suministro.

El coeficiente dependerá del tipo de discriminación horaria:

- Tipo 0: Aplicable a los abonados a la tarifa 1.0 hasta 3.0.1 de baja tensión. Se considera la potencia máxima de ambos periodos.
- Tipo 1: Discriminación horaria sin contador de tarifa múltiple. De aplicación a los abonados con potencia contratada igual o inferior a 50 kW. Toda la potencia consumida, tanto en punta como en valle y llano, se ve sometida a un recargo del 20%.
- Tipo 2: Discriminación horaria con contador de doble tarifa, de uso general. Un contador exclusivo para horas punta, que llevan un recargo del 40%, y otro para las horas llano y valle, que no tienen recargo.

- Tipo 3: Discriminación horaria con contador de triple tarifa, sin discriminación de sábados y festivos, de uso general. Penaliza la energía consumida en las horas punta con un 70% y bonifica las horas consumidas en valle con un 43%. La energía consumida en el periodo llano no se ve afectada por recargos ni descuentos.
- Tipo 4: Discriminación horaria con contador de triple tarifa y discriminación de sábados y festivos, de uso general. Es semejante a la tipo 3, sólo que además se considera dentro de valle la energía consumida en sábados y domingos. El recargo para hora punta es del 100% y la bonificación para valle es del 43%. El periodo llano no se ve afectado con recargos ni descuentos.
- Tipo 5: Consiste en un complemento que se combina con tarifas en general de grandes consumos. Tiene en cuenta las estaciones, temporadas, días pico, etc., y se configura mediante aplicaciones informáticas.

Energía reactiva

La energía reactiva no produce trabajo útil para el abonado, pero la compañía suministradora se ve obligada a proporcionarla. El complemento por energía reactiva está constituido por un recargo o descuento porcentual y se aplicará sobre la totalidad de la facturación básica. El factor de potencia, $\cos\phi$, se calculará con dos cifras decimales, redondeando de la última cifra.

$$\cos\phi = \frac{E_w}{\sqrt{E_w^2 + E_r^2}}$$

$\cos\phi$ = Factor de potencia.

E_w = Energía activa.

E_r = Energía reactiva.

El valor porcentual K_r a aplicar a la facturación básica se determinará según las siguientes fórmulas, dependiendo del valor del $\cos\phi$:

$$\text{Para } 1 \geq \cos\phi > 0,95: \quad K_r(\%) = \frac{37,026}{\cos^2\phi} - 41,026$$

$$\text{Para } 0,95 \geq \cos\phi \geq 0,90: \quad K_r(\%) = 0$$

$$\text{Para } \cos\phi < 0,90: \quad K_r(\%) = \frac{29,16}{\cos^2\phi} - 36$$

El valor porcentual de K_r será redondeado a una cifra decimal. Cuando el resultado sea negativo, se aplicará una bonificación en porcentaje igual al valor absoluto del mismo. Pero no se aplicarán recargos superiores al 50,7% ni descuentos superiores al 4%.

Los complementos por estacionalidad no son aplicables a las industrias lácteo-queseras al presentar procesos productivos continuos.

Para reducir el precio del suministro eléctrico se recomienda a las empresas trabajar al máximo en horas valle, con una curva de carga lo más baja posible y mejorar el factor de potencia, ya sea eliminando cargas ineficientes o instalando sistemas para mejorar el $\cos\phi$, principalmente baterías de condensadores.

Ejemplo de Optimización de la Tarifa Eléctrica

A partir de las facturas eléctricas de 12 meses de una industria láctea se contemplan diversas mejoras, evaluando los ahorros e inversiones que éstas suponen, sobre la base de las tarifas de 2007 (B.O.E. 31-12-06).

Los datos se han extrapolado a un año de funcionamiento, lo que no implica un comportamiento homogéneo a lo largo de los años venideros.

Tensión de suministro	20 kV
Tarifa	1.1
Discriminación horaria	2 (Doble Tarifa)
Modo de facturación	2 (con maxímetro)
Potencia contratada	345 kW
Consumo energía activa	2.100.000 kWh/año
Potencia facturada	4.611 kW/año
Potencia maxímetro	4.368 kW/año

Tabla 15. Ejemplo de tarificación. Datos del suministro eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla adjunta se reflejan los datos obtenidos de los recibos eléctricos del suministro, para el año de consumo 1/06-12/06. Según el B.O.E. 31-12-06, para la tarifa contratada, 1.1, el precio del término de energía está fijado en 0,078284 €/kWh y el de potencia en 2,271918 €/kW mes.

Fecha	Tarifa Contratada	Pc (kW)	Tipo DH	Modo Facturación	Consumo		
					Punta (kWh)	Llano (kWh)	Valle (kWh)
1-06	1.1	345	2	2	31.000	124.000	-
2-06	1.1	345	2	2	33.000	132.000	-
3-06	1.1	345	2	2	35.000	140.000	-
4-06	1.1	345	2	2	34.000	136.000	-
5-06	1.1	345	2	2	38.000	152.000	-
6-06	1.1	345	2	2	37.000	148.000	-
7-06	1.1	345	2	2	39.000	156.000	-
8-06	1.1	345	2	2	36.000	144.000	-
9-06	1.1	345	2	2	36.000	144.000	-
10-06	1.1	345	2	2	35.000	140.000	-
11-06	1.1	345	2	2	34.000	136.000	-
12-06	1.1	345	2	2	32.000	128.000	-
Total anual	1.1	345	2	2	420.000	1.680.000	-

Tabla 16. Ejemplo de tarificación. Datos de recibos eléctricos (I).

Fuente: Elaboración propia.

Fecha	Consumo total	Consumo facturable por DH tipo 2	Consumo energía reactiva	Potencia registrada en maxímetro	Potencia facturable por modo 2	Factor potencia	Valor porcentual de Kr	Térmico energía	Térmico potencia	Complemento por energía reactiva	Alquiler equipos
	kWh	kWhf	kV Arh	kW	kW	Cos	%	€	€	€	€
1-06	155.000	167.400	87.843	310	310	0,87	2,5	13.104,7	704,3	324,25	5,46
2-06	165.000	172.200	84.532	340	340	0,89	0,8	13.950,2	772,5	111,37	5,46
3-06	175.000	189.000	89.655	355	355	0,89	0,8	14.795,7	806,5	118,01	5,46
4-06	170.000	183.600	87.094	360	360	0,89	0,8	14.372,9	817,9	114,93	5,46
5-06	190.000	205.200	97.340	358	358	0,89	0,8	16.063,9	813,3	127,62	5,46
6-06	185.000	199.800	89.600	400	475,5	0,90	0,0	15.641,1	1.080,3	0,01	5,46
7-06	195.000	210.600	88.845	410	505,5	0,91	0,0	16.486,6	1.148,5	0,00	5,46
8-06	180.000	194.400	87.178	380	415,5	0,90	0,0	15.218,4	944,0	0,00	5,46
9-06	180.000	194.400	92.217	375	400,5	0,89	0,8	15.218,4	909,9	122,04	5,46
10-06	175.000	189.000	89.655	365	370,5	0,89	0,8	14.795,7	841,7	118,30	5,46
11-06	170.000	183.600	91.756	365	370,5	0,88	1,7	14.372,9	841,7	234,17	5,46
12-06	160.000	172.800	86.359	350	350	0,88	1,7	13.527,5	795,2	220,45	5,46
Total anual	2.100.000	2.268.000	1.072.074	4.368	4.611	0,89	0,9	177.584	10.476	1.491	65,52

Tabla 17. Ejemplo de tarificación. Datos de recibos eléctricos (II). No se contempla el IVA (16%).

Fuente: Elaboración propia.

Esto supone una factura anual de 189.581 €. Se observa que el recargo medio por discriminación horaria (tipo 2) constituye una media del 7,5% de la factura anual, así como el complemento por energía reactiva, que asciende a un 7,9%. Adicionalmente, la potencia facturada supera anualmente la contratada (345 kW mensuales) en un 0,06%.

Aumento de la potencia contratada (Pc)

Actualmente la potencia contratada para el suministro es de 345 kW. Alguna de las potencias demandadas durante el periodo analizado (véase la Tabla 17) es superior al margen 1,05 de Pc (362,25 kW) límite que permite la facturación por maxímetro. Esta situación origina un recargo económico en el recibo eléctrico.

Se propone el aumento de la potencia contratada a 390 kW. Con este cambio, se pasaría a una potencia facturada de 4.390 kW/año. El ahorro vendrá dado por la diferencia de potencias facturadas y será de:

$$(4.611 - 4.391) \text{ kW/año} \times 2,271918 \text{ €/kW} = 500 \text{ €/año}$$

La inversión necesaria, tras la comunicación a la compañía suministradora, respondería al pago de los derechos de acometida y verificación del aumento de potencia, estimados en torno a los 1.600 euros. Debe tenerse en cuenta que una vez modificada la potencia contratada, ésta no podrá volver a ser modificada hasta transcurridos 12 meses.

Cambio de Tarifa 1.1 a Tarifa 2.1

El tipo de tarifa contratada es la 1.1 de corta utilización. En función de la energía consumida y de la potencia facturada durante el periodo analizado, sería muy interesante efectuar el cambio a la tarifa 2.1 de media utilización.

El factor de utilización del suministro es el siguiente:

$$2.100.000 \text{ kWh}/4.611 \text{ kW} = 455 \text{ horas}$$

El factor de utilización a partir del cual es rentable este cambio de tarifa puede calcularse como:

$$\frac{T_{p_0} - T_{p_1}}{T_{e_1} - T_{e_0}}$$

siendo T_{p_0} y T_{e_0} respectivamente los términos de potencia y energía correspondientes a la tarifa anterior y T_{p_1} y T_{e_1} los correspondientes a la nueva tarifa. Con los datos de la tabla 18, el factor resulta ser de 371 horas.

TARIFA	TÉRMINO DE ENERGÍA (€/KWh)	TÉRMINO DE POTENCIA (€/KW MES)
1.1	0,078284	2,271918
2.1	0,071749	4,697183

Tabla 18. Ejemplo de tarificación. Precios de las tarifas. BOE 30-12-06.

Fuente: Elaboración propia.

El ahorro económico obtenido en la nueva tarifa es de:

$$2.100.000 \text{ kWh/año} \times (0,078284 - 0,071749) \text{ €/kWh} + 4.611 \text{ kW/año} \times (2,271918 - 4,697183) \text{ €/kW} = 2.540 \text{ €/año.}$$

Este ahorro se hará mayor al ajustar la potencia contratada al valor recomendado, al disminuir sensiblemente la potencia facturada.

La implantación de esta mejora se realiza sin ninguna inversión, sólo se requiere la comunicación a la compañía suministradora. Ha de tenerse en cuenta que, una vez modificada la tarifa, no se podrá volver a modificar hasta transcurridos 12 meses.

Cambio de Discriminación Horaria (DH)

Actualmente la discriminación horaria es del tipo 2, lo que supone un recargo del 40% sobre el consumo en horas punta (4 h/día), siendo 7,5% el coeficiente medio de DH.

En la industria láctea existen instalaciones con consumos eléctricos a lo largo de las 24 horas del día, como son los sistemas de refrigeración. Por otro lado, pueden desplazarse consumos hacia horas valle (0-8 h) mediante, por ejemplo, sistemas de acumulación de frío.

A partir de datos de instalaciones análogas, se ha estimado que el coeficiente de discriminación horaria pasaría a ser del 2,0%, por lo cual el ahorro previsto por el cambio de DH tipo 2 a tipo 3, sería:

$$(7,5 - 2,0)\% \times 2.100.000 \text{ kWh/año} \times 0,071749 \text{ €/kWh} = 8.287 \text{ €/año}$$

La inversión necesaria corresponde a la sustitución del contador de doble tarifa por uno de triple tarifa, con el programador correspondiente, de coste estimado 1.700 €. El alquiler del contador a la compañía suministradora supone unos 7 € por mes a mayores del actual alquiler de equipos de medida.

Mejoras del factor de potencia

La industria estudiada presentó un recargo medio durante los meses en estudio del 0,8% ($\text{Cos}\varphi = 0,89$) por energía reactiva. Este valor es susceptible de mejora, disminuyendo el consumo de energía reactiva actual.

Para la disminución de energía reactiva, se instalará una batería de condensadores automática, cuya potencia vendrá dada por la siguiente expresión:

$$P_c = P_w \times (\text{tg } \varphi_1 - \text{tg } \varphi_2),$$

siendo:

P_w = Potencia media = 364 kW

$\text{Cos } \varphi_1$ = Factor de potencia actual = 0,89

$\text{Cos } \varphi_2$ = Factor de potencia futuro = 0,99

P_c = 135 kVAr

El ahorro económico previsto, teniendo en cuenta la mejora anterior, vendrá dado por el cambio del actual recargo del 0,8%, a una bonificación futura del 3,2%, motivada por la disminución del consumo de energía reactiva y será de 6.066 €/año.

La inversión corresponde a la adquisición de una batería autorregulada de 135 kVAr y asciende, aproximadamente, a 18.700 €, con lo que el periodo de retorno de la inversión será de 37 meses.

Resumen de mejoras

De la optimización eléctrica, se desprenden los ahorros, e inversiones que se detallan a continuación:

Mejora	Ahorro (€/año)	Inversión (€)	Plazo de recuperación (meses)
Aumento de Potencia contratada	500	1.600	38,4
Cambio Tarifa 1.1 a 2.1	2.540	0	inmediato
Cambio de discriminación horaria	8.232	1.700	2,5
Mejora del factor de potencia	6.066	18.700	37

Tabla 19. Ejemplo de tarificación. Resumen de mejoras.

Fuente: Elaboración propia.

Situación futura

La contratación del suministro de la industria láctea, una vez realizadas las mejoras propuestas, quedaría de la siguiente forma:

Tarifa 2.1. Potencia contratada 390kW. Discriminación horaria tipo 3.
Y la facturación eléctrica del centro sería:

(1) Término de potencia:	4.390 kW/año x 4,697183 €/kW	20.621 €/año
(2) Término de energía:	2.100.000 kWh/año x 0,071749 €/kWh	150.673 €/año
(3) Recargo por discriminación horaria	2,0% de (2)	3.013 €/año
(4) Bonificación por factor de potencia	3,2 % de (1) + (2)	-5.481 €/año
(5) Alquiler equipos de medida		313 €/año
		TOTAL 169.139 €/año

Ahorro total: (189.581-169.139) €/año = 20.442 €/año, lo que supone un 10,78% de ahorro anual.
Nota: No se contempla el IVA correspondiente (16%).

Marco Legal

En el Anexo IV se incluye un extracto de la normativa legal aplicable en el aprovisionamiento energético del sector.

Las principales implicaciones para dicho sector que pueden extraerse del estudio de dicha legislación son las siguientes:

- Puesto que el consumo de **gas natural** debe ser superior a las 250 MTe para que las empresas tengan acceso a las instalaciones de recepción, regasificación, almacenamiento y transporte de gas natural, la elección del suministrador está restringida para todas las PYMEs del sector, excepto para aquellas que son titulares de instalaciones de cogeneración.
- Como consecuencia de la actual política medioambiental, en el aprovisionamiento de **fuelóleo**, las empresas controlan la emisión de gases, especialmente de SO₂.
- La liberalización del sector **eléctrico** y potenciación del autoconsumo en las instalaciones de cogeneración.

Tendencias del Mercado

A título de resumen de los factores internos y externos a la empresa que condicionan su estructura de aprovisionamiento se presenta la tabla siguiente:

FACTORES EXTERNOS A LA EMPRESA	FACTORES INTERNOS A LA EMPRESA
Disponibilidad del combustible	Estructura de consumo de la empresa
Precio	Viabilidad técnica del cambio de equipos
Costes de preparación y mantenimiento	Espacio disponible en la empresa
Calidad	Utilización de energías alternativas
Fiabilidad del suministro	Sustitución de fuentes de energía por otras convencionales
Poder calorífico	Implantación de nuevas tecnologías
Ubicación geográfica y vías de acceso	
Aspectos medioambientales	

Tabla 20. Factores que influyen en el aprovisionamiento energético.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. COGENERACIÓN

La cogeneración consiste en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Se basa en el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción de electricidad. Es interesante en instalaciones en donde ambos, el consumo térmico y el eléctrico, son elevados, como es el caso en el sector lácteo-quesero.

La introducción de líneas de gran producción, con el consiguiente incremento de los costes energéticos, ha motivado que las as de mayor productividad del sector vean la cogeneración como una opción real de aprovisionamiento, puesto que es el método más eficiente para producir, de forma simultánea energía térmica y eléctrica, tal y como se muestra en los diagramas de Sankey de las figuras 21 y 22.

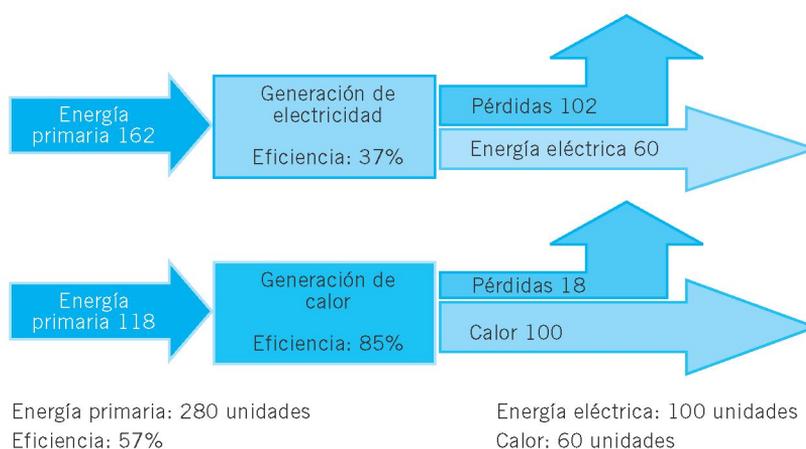


Figura 21. Producción separada de energía térmica y eléctrica.

Fuente: Cogeneration in the agrofood sector.

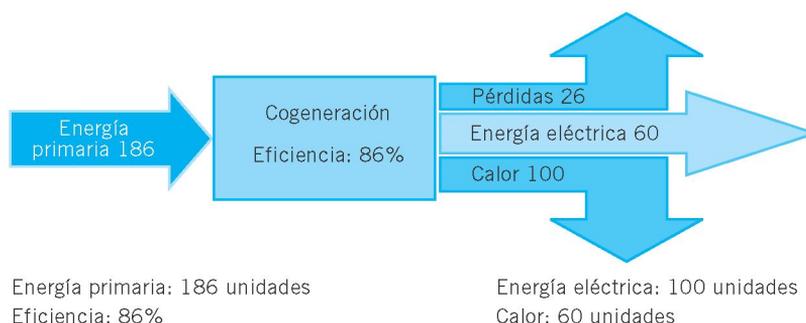


Figura 22. Generación conjunta de energía térmica y eléctrica.

Fuente: Cogeneration in the agrofood sector.

Las industrias lácteas son usuarias potenciales de la cogeneración por las siguientes causas:

- Demandas de calor y electricidad simultáneas y continuas.
- Horario de funcionamiento superior a 4.000 horas anuales.

Mediante un **estudio de viabilidad**, las empresas podrán determinar las posibilidades reales de instalación, la solución más interesante y la rentabilidad de la misma. En este estudio habrán de contemplarse aspectos legales recogidos en el Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Dicho decreto unifica la normativa de desarrollo de la Ley 54/1997, en lo que se refiere a la producción de energía eléctrica en régimen especial, y sigue el camino iniciado con el Real Decreto 2818/1998 sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos o cogeneración. Además, aprovecha al propio tiempo la estabilidad que ha venido a proporcionar el Real Decreto 1432/2002 de metodología para la aprobación de la tarifa eléctrica media o de referencia, para dotar a quienes han decidido o decidan en un futuro próximo apostar por el régimen especial de un marco regulatorio duradero, objetivo y transparente. Se consideran autoprodutores de energía centrales de cogeneración que consuman, al menos, un 30% de la energía eléctrica autoproducida, si su potencia instalada es inferior a 25 MW, y, al menos, el 50% si su potencia instalada es igual o superior a 25 MW.

- Las instalaciones de potencia inferior a los 10 MW dispondrán de:

1. Tarifa: 80% durante los primeros 10 años desde su puesta en marcha y 50% a partir de entonces.
2. Prima: 30% durante los primeros 10 años de su puesta en marcha.
3. Incentivo: un mínimo 10%, según el tipo de energía primaria utilizado.

- Las instalaciones de potencia superior a 10 MW e igual o menor a 25 MW:

1. Tarifa: 55% en tanto subsista la retribución de los costes de transición según la Ley 54/1997 y 50% a partir de entonces.
2. Prima: 5% en tanto subsista la retribución de los costes de transición según la Ley 54/1997
3. Incentivo: un mínimo 10%, según el tipo de energía primaria utilizado.

Las partes más representativas de un sistema de cogeneración son el elemento productor, el sistema de interconexión eléctrica y el sistema de recuperación de calor.

Elemento productor. Puede ser de dos tipos: turbina de gas o motor alternativo, siendo este último el más utilizado en la Industria Láctea. Estos elementos llevan acoplado un generador, formando el grupo de cogeneración propiamente dicho.

La *turbina de gas* consta de un compresor, una cámara de combustión y la turbina. En su funcionamiento, el aire es aspirado de la atmósfera y comprimido para después pasar a la cámara de combustión donde se mezcla con el combustible y se produce la combustión, pasando los gases calientes a través de la turbina, donde se expansionan moviendo el eje que acciona el compresor y el alternador.

Los *motores alternativos* son máquinas de combustión interna. El combustible debe formar con el aire una mezcla capaz de desencadenar una fuerte reacción exotérmica en condiciones de presión y temperatura controladas, cuya energía se aprovecha por el elemento motriz del motor para generar la energía mecánica.

Sistema de interconexión eléctrica. Realiza la conexión de la energía eléctrica generada con la red de la compañía suministradora, en condiciones de seguridad, tanto en el suministro como en la propia instalación.

Sistema de recuperación de calor. La aplicación de turbinas o motores en un sistema de cogeneración requiere el aprovechamiento del calor que sale con los gases de escape y circuitos de refrigeración del motor.

En las *turbinas de gas*, la recuperación más habitual es en una caldera de recuperación para generación de vapor. Pevio a la caldera y para la regulación de la generación de vapor, se pueden instalar quemadores de postcombustión.

En los *motores alternativos* existen varias fuentes de calor a diferentes niveles térmicos – gases de escape, refrigeración de cilindros, aire y aceite de lubricación.

Otros elementos de la instalación. Son la instalación de alimentación del combustible, el compresor de gas, los intercambiadores, etc.

El coste de una planta de generación se estima entre 725.000 y 850.000 de euros por MW de potencia instalada, con una vida útil de entre 5 y 20 años. Cuando en la planta se prevea la producción de frío a través de máquinas de absorción, el coste puede ser en torno a los 875.000 euros por cada MW.

El calor residual originado en la cogeneración se emplea para la generación de vapor, utilizable, entre otros procesos, en el secado en la industria quesera y en el pasterizado en la láctea.

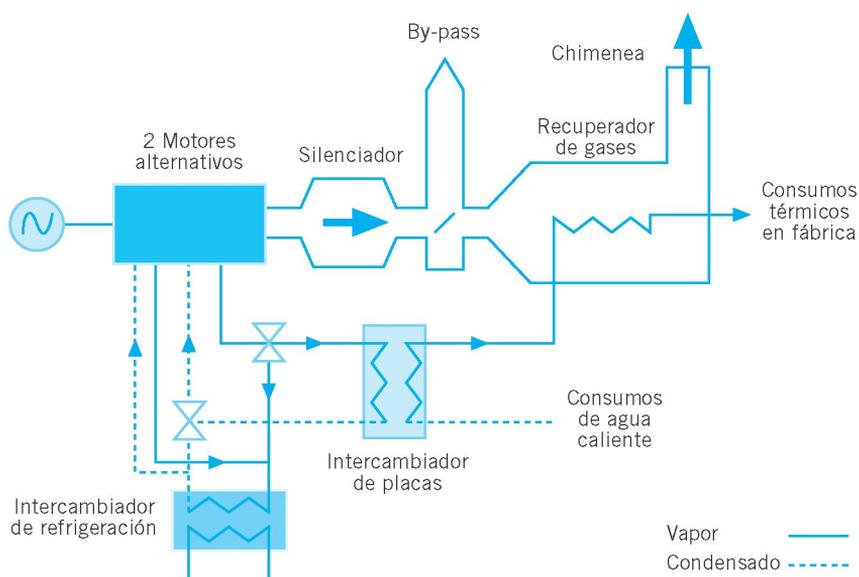


Figura 23. Esquema de la planta de cogeneración con motor de combustión interna.

Fuente: Elaboración propia.

SITUACIÓN ACTUAL	
Horario de funcionamiento	6.864 h/año
Consumo de gas natural	12,99 MTe/año
Consumo de energía eléctrica	4,8 GWh/año
COSTES ENERGÉTICOS	
Precio del gas natural	1,80 pts/Te
Precio medio de energía eléctrica	10,5 pts/kWh
Coste anual de gas natural	23,38 Mpts/año
Coste anual de energía eléctrica	50,47 Mpts/año
Coste total	73,83 Mpts/año

Tabla 21. Ejemplo de cogeneración: situación actual.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

SITUACIÓN AL COGENERAR: BASES DE PARTIDA	
Potencia en la planta	2.400 kW
Rendimiento eléctrico	37%
Consumo de combustible	6.500 kW/h
Color recuperado	2.200 kW/h
Horario de funcionamiento	6.240 h/año
Precio del gas natural	1,80 pts/Te
Precio de la energía eléctrica vendida	9,00 pts/kWh
Consumo de energía eléctrica en servicios auxiliares	48 kW/h
Coste del mantenimiento de la planta de cogeneración	1,2 pts/kWh generado

Tabla 22. Ejemplo al cogenerar: bases de partida.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

RESULTADOS	
Consumo de combustible en la planta de cogeneración	34,88 MTe/año
Consumo de combustible resto fábrica	1,18 MTe/año
Consumo total de combustible	36,06 MTe/año
Energía eléctrica generada	14,98 GWh/año
Energía eléctrica autoconsumida en cogeneración	0,3 GWh/año
Energía eléctrica autoconsumida en fábrica	4,37 GWh/año
Total energía autoconsumida	4,67 GWh/año
Porcentaje de energía eléctrica autoconsumida	31,17%
Rendimiento eléctrico equivalente	59,18%
Energía eléctrica vendida	10,31 GWh/año

Tabla 23. Ejemplo de cogeneración: resultados.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

RESULTADOS	
Coste de combustible de cogeneración	62,79 Mpts/año
Coste de combustible resto fábrica	2,13 Mpts/año
Energía eléctrica comprado (mantenimiento de potencia)	4,59 Mpts/año
Energía eléctrica vendida	-92,78 Mpts/año
Coste de mantenimiento y varios	31,17 Mpts/año
Total al cogenerar	7,89 Mpts/año
Ahorro al cogenerar sobre situación de referencia	65,93 Mpts/año
Inversión prevista	264,00 Mpts/año
Periodo simple de retorno	4 años

Tabla 24. Costes al cogenerar.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

4. CONTABILIDAD ENERGÉTICA

La **Contabilidad Energética** tiene como finalidad determinar los consumos energéticos en los distintos equipos y procesos sobre la base de medidas directas, obtenidas in situ, e indirectas, a través de ratios y del tratamiento de los datos. Su objeto es hallar los consumos energéticos totales y específicos, asignar costes, comparar consumos y servir de base a la realización de auditorías energéticas.

En función de la exhaustividad de la información recabada, son varios los tipos de contabilidad que pueden realizarse:

- Global.
- Por procesos.
- Por equipos.
- Por productos.

A medida que se desciende en el orden anterior, la precisión de la contabilidad energética va aumentando, pero también son más complejas y se encarecen las labores de toma de datos, al necesitarse sistemas automáticos de medición.

En empresas de productividad menor a los 70.000 kl de leche o a las 2.000 t de queso, el nivel de contabilidad energética puede ser por procesos, mientras que en el resto de las empresas es aconsejable llegar a la contabilidad por equipos. Sólo en las mayores industrias lácteas –aquéllas con productividad mayor a los 150.000 kl de leche y a las 3.000 t de queso– es económicamente viable la implantación de un sistema de contabilidad por productos.

4.1. CONTABILIDAD GLOBAL

Datos de partida:

- Consumos y costes mensuales y anuales de cada tipo de combustible y de energía eléctrica.
- Producción mensual y anual en kl para la leche y en toneladas para el queso.
- Poder calorífico de los combustibles empleados.

La contabilidad global puede abordarse en distintos grados de detalle, de los cuales el más básico es la mera contabilidad de los consumos energéticos mensuales de la planta. A partir de él es posible calcular los consumos específicos, que permiten la realización de una auditoría más precisa, aunque a nivel primario.

La correlación de los consumos energéticos, no sólo con la producción, sino con otras variables industriales –temperaturas, presiones, caudales, etc.– conduce a un sistema contable mucho más elaborado que requiere altos conocimientos técnicos para su realización. Este sistema puede ser mejorado introduciendo comparaciones con valores históricos, teóricos y estadísticos intersectoriales.

Para completar las tablas siguientes es preciso recurrir al cuadro de conversión a tep que se muestra en los Anexos.

Mes Año Responsable						
COMBUSTIBLES	CONSUMO	UNIDAD	COSTE (€)	PCS real* (kJ/ud)	PCS teórico (kJ/ud)	CONSUMO EQUIVALENTE (MJ)
GAS NATURAL		Nm ³			42.358,1	
FUELÓLEO n° 1		kg			42.278,6	
FUELÓLEO n° BIA		kg			42.278,6	
GASÓLEO C		kg			44.709,2	
PROPANO		m ³			82.799,1	
OTROS						
		TOTAL				

Tabla 25. Consumos mensuales de energía calorífica.

* Se usarán los valores teóricos en el caso de que no puedan evaluarse los reales.

Fuente: Elaboración propia.

Mes	Año	Responsable	1.- Suministro	2.- Suministro
Tensión de suministro				
Medidas de potencia (Maxímetro) S/N				
Tarifa				
Potencia contratada (kW)				
Discriminación horaria				
Consumo de energía eléctrica (kWh/mes*)				
Coefficiente de recargo/bonificación DH (kWh/mes)				
Coefficiente de recargo/bonificación ER				
Cos φ medio				
Potencia media facturada (kW/mes)				
Lectura media del máximo (kW/mes)				
Energía eléctrica autoproducida (kWh/mes)				

Tabla 26. Consumo mensual de energía eléctrica.

* Esta misma tabla puede utilizarse para contabilizar los consumos anuales.

Fuente: Elaboración propia.

Año	Responsable												
	Producción	Gas Natural Nm ³	€	Gasóleo kg	€	Fuelóleo nº 1 kg	€	Fuelóleo BIA kg	€	Propano m ³	€	En. Eléctrica kWh	€
Enero													
Febrero													
Marzo													
Abril													
Mayo													
Junio													
Julio													
Agosto													
Septiembre													
Octubre													
Noviembre													
Diciembre													
TOTAL													

Tabla 27. Resumen anual de consumos energéticos.

Fuente: Elaboración propia.

Mes		Año		Responsable	
TIPO DE ENERGÍA	CONSUMO	UNIDAD	COSTE (€)	CONSUMO EQUIVALENTE (tep)	
ELÉCTRICA		kWh			
CALORÍFICA		MJ			
		TOTAL			
		Producción (kl o t)			
		Consumo específico tep/u			
		Coste específico €/u			

Tabla 28. Consumo energético global.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 28 se realizará con una periodicidad mensual, de forma que a fin de año pueda elaborarse una tabla comparativa de consumos de energía eléctrica y térmica.

Para calcular el porcentaje de costes energéticos pueden utilizarse los costes totales de la empresa o bien la facturación total.

$$\%CE_1 = \frac{\text{Coste Energético}}{\text{Costes Totales}} \times 100$$

$$\%CE_2 = \frac{\text{Factura Energética}}{\text{Facturación Total}} \times 100$$

El consumo de gas natural y de energía eléctrica se contabilizará, bien a través de facturas de las compañías suministradoras, bien a partir de lecturas de contadores. El consumo de fuelóleo y gasóleo se contabilizará por lecturas de contadores o en su defecto por calado de tanques de almacenamiento.

Ejemplo de contabilidad global

Mes		Año		Responsable		
COMBUSTIBLES	CONSUMO	UNIDAD	COSTE (€)	PCS real (kJ/ud)	PCS teórico (kJ/ud)	CONSUMO EQUIVALENTE (MJ)
GAS NATURAL		Nm ³			42.358,1	
FUELÓLEO n° 1		kg			42.278,6	
FUELÓLEO n° BIA		kg			42.278,6	
GASÓLEO C		kg			44.709,2	
PROPANO		m ³			82.799,1	
OTROS						
		TOTAL				

Tabla 29. Ejemplo de contabilidad de consumos mensuales de energía calorífica.

Fuente: Elaboración propia.

Mes	Enero	Año	2007	Responsable	Gestor de la energía
				1.- Suministro	2.- Suministro
Tensión de suministro (kV)				45	
Medidas de potencia (Maxímetro) S/N				S	
Tarifa				2,2	
Potencia contratada (kW)				1.500	
Discriminación horaria				Tipo 3	
Consumo de energía eléctrica (kWh/mes)				630.000	
Coeficiente de recargo/bonificación DH (kWh/mes)				-8.800	
Coeficiente de recargo/bonificación ER				-2,47	
Cos ϕ medio				0,98	
Potencia media facturada (kW/mes)				1.549	
Lectura media del máximo (kW/mes)				-	
Energía eléctrica autoproducida (MWh/mes)				-	

Tabla 30. Ejemplo de contabilidad del consumo de energía eléctrica.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

Mes	Enero	Año	2007	Responsable	Gestor de la energía
TIPO DE ENERGÍA	CONSUMO	UNIDAD	COSTE (€)	CONSUMO EQUIVALENTE (tep)	
ELÉCTRICA	630.000	kWh	32.021	54,2	
CALORÍFICA	8.282	MJ	58.906	188,5	
TOTAL			90.927	242,7	
Producción kl/mes				4.600	
Consumo específico tep/kl				0,053	
Coste específico €/kl				19,87	

Tabla 31. Ejemplo de contabilidad del consumo mensual.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

4.2. CONTABILIDAD POR PROCESOS

Para contabilizar los consumos energéticos por procesos es preciso distinguir entre los sectores lácteo y quesero.

En las **industrias lácteas**, los principales procesos consumidores de energía son la pasteurización y la upeización. En un segundo plano se sitúan el enfriamiento, la higienización, la termización, el descremado, el envasado y la refrigeración.

En las **industrias queseras**, los procesos a destacar son el enfriamiento, la higienización, la termización, el descremado, el prensado, la maduración y el secado.

En ambas industrias cabe destacar los consumos energéticos en un proceso auxiliar, el de limpieza.

Los consumos energéticos se relacionarán con las horas de funcionamiento mensuales y con los kl de materias primas empleados –que en muchos casos son distintos para cada proceso debido a la fabricación simultánea de varios productos–, consiguiendo así consumos específicos y horarios para establecer comparaciones. Esta información es de gran utilidad en la realización de auditorías energéticas.

Mes Año Responsable											
Proceso	Consumos energéticos en tep						kl de entrada	Horas al mes	TOTAL		
	Eléctrica	Gasóleo	Fuelóleo1	BIA	Gas Nat.	Otras			tep/u	€/u	tep/h
Prensado											
Secado											
Maduración											
Enfriamiento											
Higienización											
Termización											
Descremado											
Refrigeración											
Envasado											
TOTAL											

Tabla 32. Consumos energéticos por procesos en la industria quesera.

Fuente: Elaboración propia.

Mes Año Responsable											
Proceso	Consumos energéticos en tep						kl de entrada	Horas al mes	TOTAL		
	Eléctrica	Gasóleo	Fuelóleo1	BIA	Gas Nat.	Otras			tep/u	€/u	tep/h
Pasterización											
Uperización											
Enfriamiento											
Higienización											
Termización											
Descremado											
Refrigeración											
Envasado											
TOTAL											

Tabla 33. Consumos energéticos por procesos en la industria láctea.

Fuente: Elaboración propia.

Mes		Año					Responsable				
Procesos Auxiliares	Consumos energéticos en tep					Produc. mensual	Horas al mes	TOTAL			
	Eléctrica	Gasóleo	Fuelóleo1	BIA	Gas Nat.			Otras	tep/u	€/u	tep/h
Iluminación											
Calefacción											
Limpieza											
Otros											
TOTAL											

Tabla 34. Consumos energéticos en procesos auxiliares.

Fuente: Elaboración propia.

La diferencia entre el consumo energético global de la industria, proporcionado por la tabla 28, y el total de las tablas 32 y 33 representa, con pequeñas variaciones, el consumo energético en procesos auxiliares –véase la tabla 34.

Ejemplo de contabilidad por procesos

La tabla 35 resume, a título de ejemplo, la estructura de consumo en una industria láctea, considerando un mes de invierno.

Mes Enero		Año 2007			Responsable Gestor de la energía				
Proceso	Consumos energéticos en tep				kl de entrada	Horas al mes	Tep/kl	TOTAL	
	Eléctrica	Gasóleo	Fuelóleo	Otros				€/kl	tep/h
Pasterización			98,8		4.300	167	0,023	7,187	0,59
Uperización			18,3		700	167	0,026	8,125	0,11
Enfriamiento	11,3				5.060	668	0,002	1,669	0,02
Higienización			19,3		5.060	167	0,004	1,250	0,12
Termización			25,9		5.060	167	0,005	1,563	0,16
Descremado	6,5				5.060	167	0,0013	1,085	0,04
Refrigeración	18,8				3.600	668	0,0052	4,338	0,03
Envasado	9,1				5.060	167	0,0018	1,502	0,05
TOTAL	47,7		164,3				0,068	26.719	1,12

Tabla 35. Ejemplo de contabilidad energética mensual por procesos.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

Mes	Enero	Año 2007			Responsable Gestor de la energía				
		Consumos energéticos en tep				Produc. kl	Horas al mes	tep/kl	TOTAL €/kl
Procesos Auxiliares	Eléctrica	Gasóleo	Fuelóleo1	Otros					
Iluminación	1,6				4.600	167	0,00035	0,292	0,0096
Calefacción			5,1		4.600	167	0,0011	0,344	0,031
Limpieza	3,9		9,3		4.600	80	0,0027	1,339	0,17
Otros					4.600				
TOTAL	5,5		14,4				0,00415	1,975	0,2106

Tabla 36. Consumos energéticos en procesos auxiliares.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

4.3. CONTABILIDAD POR EQUIPOS

Su objetivo es determinar el consumo energético de cada equipo y poder calcular su rendimiento. Estableciendo comparaciones con datos históricos, datos estándar o datos de equipos similares, se puede conocer si el equipo funciona en óptimas condiciones o si por el contrario, está consumiendo demasiada energía.

Para la toma de datos se instalarán sistemas de medida check-line y contadores de calorías, o bien se realizarán estimaciones del consumo de cada equipo en base a los consumos energéticos globales del proceso y a las horas diarias de utilización.

Es recomendable desglosar la contabilidad por equipos en: parque de calderas, otros equipos consumidores de energía primaria y equipos consumidores de energía transformada.

Para aquellos equipos consumidores de energía eléctrica se elaborará un resumen mensual tal y como se muestra en la tabla 41.

Mes	Año	Responsable		
		Caldera 1	Caldera 2	Caldera 3
Combustible (1)				
Tipo (2)				
Régimen (3)				
Producto energético (4)				
Temperatura media del producto (°C)				
Temperatura media del agua de alimentación (°C)				
Presión de timbre (kg/m ²)				
Presión de trabajo (kg/m ²)				
Potencia (MW)				
Capacidad de producción (m ³ /h)				
Utilización (h/mes)				
Carga media (%)				
Rendimiento (%)				
Consumo energético (tep)				
Coste (€)				

Tabla 37. Contabilidad energética en calderas.

Fuente: Elaboración propia.

Mes	Año	Responsable				
EQUIPO	ENERGÍA (1)	CARGA (kW)	UTILIZACIÓN (h/año)	RÉGIMEN DE CARGA (3)	CONSUMO NOMINAL (tep/año)	COSTE (€)
Generador aire caliente						
Compresores de aire						
Compresores y bombas						
Centrifugadoras						
Homogeneizador						
Moldeadoras						
Llenadoras						
Prensas						
Envasadoras						

Tabla 38. Contabilidad energética en otros equipos consumidores de energía primaria.

Fuente: Elaboración propia.

Mes	Año	Responsable		
EQUIPO	UTILIZACIÓN (h/año)	CONSUMO (tep)	COSTE (€)	
Pasterizador				
Esterilizador				
Concentrador				
Equipo de lavado				
Cubas de cuajado				

Tabla 39. Contabilidad energética en equipos consumidores de energía transformada.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA DE CÓDIGOS			
ENERGÍA (1)		RÉGIMEN (3)	
1. Energía Eléctrica	5. Fuelóleo nº 1	1. Continuo	3. En reserva
2. Gas Natural	6. Fuelóleo nº 1 BIA	2. Intermitente	4. Fuera de servicio
3. Gasóleo C	7. Vapor adquirido	PRODUCTO ENERGÉTICO (4)	
4. Propano		1. Vapor	4. Fluido térmico
TIPO DE CALDERA (2)		2. Agua sobrecalentada	5. Gases calientes
1 Acuotubular	2 Piro tubular	3. Agua caliente	

Tabla 40. Códigos utilizados.

Fuente: Elaboración propia.

En la contabilidad de los consumos eléctricos de un equipo se requiere repartir el coste asociado al término de potencia en base a la relación:

$$\text{Coeficiente de Reparto} = \frac{\text{Potencia nominal del equipo} \times 100}{\text{Potencia contratada}}$$

Mes Año Responsable					
TIPO HORARIO	HORAS DE UTILIZACIÓN	RÉGIMEN DE CARGA (%)	CONSUMO (kWh)	€/kWh	Término de energía del equipo (€)
PUNTA					
LLANO					
VALLE					
TOTAL					
	Coeficiente de reparto (%)				
	Término de potencia				
	Coste eléctrico total asociado (€)				

Tabla 41. Consumo eléctrico de un equipo.

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de contabilidad por equipos

Contabilidad de los consumos energéticos en una envasadora en periodo invernal con discriminación tipo 3. El horario productivo es a triple turno de lunes a viernes y la potencia contratada es de 1.500 kW (término de potencia de 7.046 €/mes).

Mes Enero		Año 2007		Responsable Gestor de la energía		
EQUIPO	ENERGÍA (1)	CARGA (kW)	UTILIZACIÓN (h/mes)	RÉGIMEN DE CARGA (3)	CONSUMO NOMINAL (tep/mes)	COSTE (€)
ENVASADORA	Eléctrica	63	480	Continuo	2,6	1.956

Tabla 42. Ejemplo de contabilidad energética en una envasadora.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

Mes	Año 2007		Responsable Gestor de la energía		
Enero					
Tipo Horario	Horas de Utilización	Régimen de Carga (%)*	Consumo (kWh)	€/kWh**	Término de energía del equipo €/mes
PUNTA	80	100%	5.039	0,121973	614,62
LLANO	160	100%	10.078	0,071749	723,09
VALLE	240	100%	15.116	0,040897	618,20
TOTAL	480		30.233		1.956
	Coefficiente de reparto (%)				4,2
	Término de potencia del equipo (€/mes)				296
	Coste eléctrico total asociado (€/mes)				2.252

Tabla 43. Consumo eléctrico mensual de una envasadora.

* Se considera un régimen de carga ideal ante la dificultad de calcular el real.

** Valores estimados a partir de las tarifas de 2007 con discriminación tipo 3.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

4.4. CONTABILIDAD POR PRODUCTOS

La contabilidad por productos persigue el cálculo de los consumos energéticos específicos, es decir, de la energía gastada y de su coste por unidad de producto.

Si se fabricase un único producto, sería sencillo calcular sus costes específicos sin más que aplicar la expresión:

$$\text{Coste específico} = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Cantidad de producto}}$$

Cuando se fabrican varios productos, existen costes energéticos difícilmente asociables, siendo necesario establecer un criterio de reparto. Al utilizar todos los productos, en mayor o menor medida, leche como materia prima, puede tomarse la cantidad consumida como coeficiente de reparto.

- Si un proceso es específico de un producto, se cargará todo el consumo a ese producto.
- Si el proceso es común a varios productos, se repartirán los consumos atendiendo a la cantidad de leche que utilicen.
- Si en el proceso se obtienen subproductos, se dividirán los costes según los kg que se obtienen de cada producto.
- Los consumos energéticos de instalaciones generales se repartirán según la leche utilizada como materia prima para cada producto.

Por tanto, se necesita conocer la cantidad de producto fabricada, el consumo de cada proceso, los procesos que intervienen en la elaboración de cada producto, el uso de materias primas por unidad de producto y la utilización que se hace de cada proceso para fabricar un producto. Estos dos últimos coeficientes se obtienen de la forma siguiente:

$$\% \text{ reparto} = \frac{\text{kg de leche utilizada}}{\text{kg de producto}}$$

$$\% \text{ de utilización} = \frac{\text{horas que se fabrica el producto}}{\text{horas que funciona el proceso}}$$

Para cada producto se hará una tabla del siguiente tipo:

Mes								Año								Responsable							
CONSUMOS	TIPO DE ENERGÍA	CONSUMO TOTAL		% de Reparto	% de Uso	% Medio	CONSUMO PARA EL PRODUCTO																
		tep	(€)				tep	(€)															
GENERALES	ELÉCTRICA																						
	CALORÍFICA																						
AUXILIARES	ELÉCTRICA																						
	CALORÍFICA																						
ESPECÍFICOS	ELÉCTRICA																						
	CALORÍFICA																						
COMUNES A SUBPRODUCTOS	ELÉCTRICA																						
	CALORÍFICA																						
								TOTAL															
								Producción mensual															
								Consumo específico €/u															

Tabla 44. Coste energético mensual para un producto.

Fuente: Elaboración propia.

En los costes generales se incluyen los consumos energéticos en iluminación y calefacción. Los costes auxiliares responden principalmente a procesos de limpieza de las instalaciones y de los equipos.

Los costes comunes a otros subproductos son aquellos originados por el consumo energético en procesos necesarios para la fabricación del producto considerado, pero que también forman parte de la fabricación de otros productos.

Agregando los datos anteriores es posible elaborar la siguiente tabla:

Mes Año Responsable				
PRODUCTO	UNIDAD	CANTIDAD ANUAL	CONSUMO ESPECÍFICO (KJ/Ud.)	COSTE ENERGÉTICO (€/Ud.)
Leche pasteurizada	m ³			
Leche uperizada	m ³			
Leche en polvo	kg			
Queso pasta dura	kg			
Queso fresco	kg			
Queso en polvo	kg			
Suero en polvo	kg			
Mantequilla	kg			
Helados	m ³			
Nata	kg			

Tabla 45. Coste energético por unidad de producto.

Fuente: Elaboración propia.

Ejemplo de contabilidad por productos

Consumos energéticos en la producción mensual de 3.850 kl de leche pasteurizada durante 120 horas con un consumo de leche como materia prima de 5.100 kl y con 167 horas de funcionamiento del proceso. Los subproductos son nata (447 kl) y mantequilla (323 kl).

Mes Enero Año 2007 Responsable Gestor de la Energía								
CONSUMOS	TIPO DE ENERGÍA	CONSUMO TOTAL		% de Reparto	% de Uso	% Medio	CONSUMO PARA LECHE PASTEURIZADA	
		tep	€				tep	€
GENERALES	ELÉCTRICA	1,6	1.335	75	71,8	73,4	1,17	976
	CALORÍFICA	5,1	1.594	75	71,8	73,4	3,74	1.169
AUXILIARES	ELÉCTRICA	3,9	3.253	75	71,8	73,4	2,86	3.254
	CALORÍFICA	9,3	2.906	75	71,8	73,4	6,83	2.134
ESPECÍFICOS	ELÉCTRICA	47,7	39.796	100	100	100	47,7	39.796
	CALORÍFICA	47,5	14.844	100	100	100	47,5	14.844
COMUNES A SUBPRODUCTOS	ELÉCTRICA			83,3	100	83,3		
	CALORÍFICA	98,8	30.875	83,3	100	83,3	82,3	25.719
TOTAL							192,1	84.641
Producción mensual kl								3.850
Consumo específico €/kl								21.98

Tabla 46. Coste energético mensual para leche pasteurizada.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

4.5. EQUIPOS DE MEDICIÓN EN LÍNEA

Los equipos check-line permiten relacionar los consumos energéticos en planta con otras variables del proceso productivo, tales como la temperatura, el caudal, la presión, etc., consiguiendo así una contabilidad con estándar técnicos.

Algunos de los parámetros eléctricos que se pueden visualizar con estos equipos son la corriente, la tensión, el factor de potencia, la potencia activa, la potencia reactiva L y C, la energía activa, la energía reactiva L y C y la frecuencia.

Entre los equipos de medición en línea específicos de las industrias lácteas cabe destacar los siguientes:

- Medidor de caudal inductivo.
- Sonda de temperatura.
- Sonda de presión.
- Controlador de flujo.
- Contadores de calorías.



Sonda de temperatura, soldada directamente a la brida APV en línea sin tubo protector adicional.



Termómetro para visualizar la temperatura "in situ" de forma práctica.



Sonda de presión, totalmente integrada en la brida y protegida por una membrana de acero inoxidable.



Manómetro de presión, embridado y protegido con una membrana de acero inoxidable.



Controlador de flujo, que mide con eficacia el cudal de fluidos y gases.



Medición de la conductividad, que asegura lecturas precisas de la conductividad del producto

Figura 24. Equipos de medición en línea.

Fuente: Cortesía de APV.

5. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS

La puesta en marcha de una gestión energética en una empresa debe ir precedida de una Auditoría Energética, a fin de determinar los consumos en las instalaciones, el aprovechamiento que se hace en el uso de la energía, e identificar las posibles fuentes de pérdidas. Los resultados de la auditoría conducirán a determinar los mayores potenciales de mejora en materia de ahorro energético y permitirán sentar las bases del estudio de viabilidad económica de su implantación.

La periodicidad de las auditorías se define en función del consumo de los equipos o de los procesos. No obstante, si a partir de la contabilidad se detectan consumos anómalos que recomienden la necesidad de una auditoría, ésta deberá realizarse a la mayor brevedad posible.

5.1. METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA

Consta de tres fases:

- Toma de datos.
- Diagnóstico de las instalaciones.
- Informe técnico-económico.

Toma de datos

El primer punto importante para la realización de auditorías es la recogida de datos. Se realizará un análisis de la situación actual incluyendo los siguientes aspectos:

- Horarios de operación de la planta.
- Diagrama del proceso productivo.
- Características y capacidades de los equipos consumidores de energía.
- Datos históricos de consumo de materias primas.
- Datos históricos de producción.
- Sistema de aprovisionamiento energético.
- Consumos energéticos, térmicos, eléctricos o de otros tipos.

Esta información se obtendrá de los datos propios de la fábrica, facturas de consumo, tablas y catálogos de los suministradores, o bien tomando las medidas directamente de los equipos. Se utilizarán termómetros, manómetros, caudalímetros, contadores de calorías y equipos de medición de parámetros eléctricos en línea.

Diagnóstico de las instalaciones

Con los datos recopilados se procederá a la elaboración de un diagnóstico que permita conocer la situación actual en cuanto a consumos y optimizar los equipos y procesos de la empresa de cara al ahorro energético. Incluirá los siguientes puntos:

- Cálculo de los balances de materia y energía.
- Cálculo de rendimientos y consumos específicos.
- Descripción de los sistemas utilizados, indicando las características, adecuación tecnológica, consumos, pérdidas y rendimientos de los diferentes equipos, procesos e instalaciones.
- Nivel de servicio, analizando la sobreutilización o infrutilización de las instalaciones respecto a su nivel óptimo.
- Diagramas de flujo de energía.

Informe técnico-económico

Una vez conocidos los consumos y realizado el balance energético de los distintos equipos, se determinarán los ahorros potenciales de energía a través de, por ejemplo, la revisión de los procesos, la instalación de nuevos equipos que sustituyan a los que se están utilizando, el aprovechamiento de calores residuales, el establecimiento de las condiciones óptimas de trabajo de los equipos, etc. De esta manera se podrán determinar los ahorros potenciales de energía de cada una de las medidas propuestas respecto del total de energía utilizada en la operación, y respecto del total de energía utilizada en la planta.

Se concluirá con un análisis económico de las inversiones a acometer con objeto de lograr los ahorros potenciales propuestos. En él se calculará el periodo de amortización, además de establecer un orden de prioridades para la realización de los proyectos en función de la rentabilidad de los mismos y de la situación financiera de la empresa.

El informe contendrá los siguientes apartados:

- Ahorros potenciales, indicando aquellos puntos donde se produce un consumo excesivo de energía o donde es posible ahorrarla.
- Mejoras propuestas, que incluirá un programa de mejoras en las instalaciones o la puesta en marcha de nuevos equipos y procesos.
- Análisis de la viabilidad económica, estudiando la rentabilidad de las distintas propuestas, periodo de amortización y prioridad de las mismas.

En el cuadro siguiente se resumen las fases de una auditoría energética.

Toma de datos	<ul style="list-style-type: none"> • Datos históricos • Proceso productivo • Sistemas utilizados • Consumo eléctrico • Consumo de materias primas • Datos de operación • Iluminación • Aislamiento • Magnitudes eléctricas • Medidas en equipos • Nivel de servicio • Aprovisionamiento energético
Diagnóstico de las instalaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Balances de materia y energía • Rendimiento y consumo específico • Descripción de los sistemas • Nivel de servicio • Diagramas de flujo de energía
Informe técnico-económico	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorros potenciales • Mejoras propuestas • Viabilidad económica

Tabla 47. Fases de una auditoría energética.

Fuente: Elaboración propia.

5.2. LA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA LÁCTEA

A título de ejemplo, se muestra la metodología de una auditoría energética en dos de los equipos más importantes del sector lácteo-quesero, como son los generadores de vapor y los pasteurizadores.

Auditoría en el generador de vapor

La auditoría en el generador de vapor tiene como finalidad identificar los consumos energéticos de este equipo y los posibles potenciales de ahorro. En la figura 25 se esquematiza el funcionamiento del generador de vapor, descrito ya en el apartado de Equipos de Proceso, y se indican los principales flujos energéticos entrantes y salientes, que se usarán después para realizar el diagnóstico de la instalación.

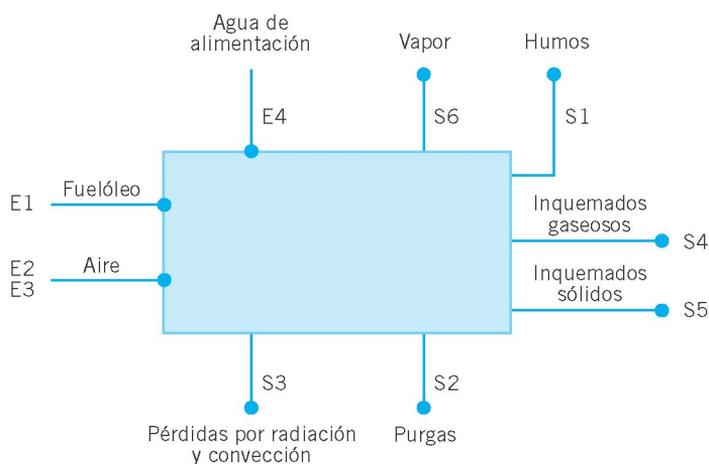


Figura 25. Esquema general de un generador de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Toma de datos

En la tabla 48 se recogen los datos a tomar para la realización de una auditoría energética en un generador de vapor, en base a los cuales se determina el balance energético y se calcula el rendimiento del equipo.

Concepto	Valor	Unidad
Consumo de fuelóleo		kg/s
Poder calorífico inferior (PCI)		kJ/kg
Temperatura combustible		°C
Caudal de aire		kg/s
Temperatura del aire		°C
Humedad absoluta		kg agua/kg aire
Exceso de aire		%
Porcentaje de O ₂		%
Porcentaje de CO ₂		%
Porcentaje de CO		%
Temperatura de humos de combustión		°C
Índice de Bacharach		IB
Caudal de humos de combustión		kg/s
Calor específico medio de humos		kJ/kg °C
Superficie de radiación total		m ²
Temperatura media superficial		°C
Coefficiente medio de transmisión de calor		kJ/sm ² °C
Temperatura ambiente		°C
Temperatura base de entalpías		°C
Caudal de agua de alimentación		kg/s
Temperatura del agua de alimentación		°C
Caudal de purga		kg/s
Entalpía del agua de purga		kW
Producción de vapor		kg/s
Entalpía del vapor		kJ/kg

Tabla 48. Análisis energético de una caldera.

Fuente: Elaboración propia.

Diagnóstico de las instalaciones

Tras la toma de datos se realizará un diagnóstico del generador de vapor que permita conocer la situación de consumos y optimizar el equipo. Para ello se calculará el balance de energía, el rendimiento y el consumo específico de energía.

Balance de energía

A partir de los datos de la tabla 48 se irán hallando los diferentes flujos de calor, y finalmente podrá calcularse el rendimiento del generador de vapor y el aprovechamiento que se hace del combustible.

Para ello se completarán las tablas 49 y 50, teniendo en cuenta que debe cumplirse que:

Calores entrantes = Calores salientes

	Concepto	MW
E1	Combustible	
E2	Aire	
E3	Humedad del aire	
E4	Fluido	
Total calores entrantes		

Tabla 49. Calores entrantes a la caldera.

Fuente: Elaboración propia

	Concepto	MW
S1	Humos	
S2	Purgas	
S3	Radiación y convección	
S4	Inquemados gaseosos	
S5	Inquemados sólidos	
S6	Calor útil	
Total calores salientes		

Tabla 50. Calores salientes de la caldera.

Fuente: Elaboración propia

Calores entrantes

E1: Calor del combustible

Mediciones: caudal del combustible, PCS, densidad.

Equipos de medición: caudalímetro y laboratorio (si no se dispone de él, se recomienda usar los datos del suministrador)

Para combustibles líquidos:

$$Q_c = Q \times \rho \times PCS$$

Q_c = Calor del combustible (kW)

Q = caudal de combustible (m^3/s)

ρ = densidad del combustible (kg/m^3)

PCS = poder calorífico superior (kJ/kg)

Para combustibles gaseosos:

$$Q_c = Q \times PCS$$

Q_c = Calor del combustible (kW)

Q = caudal de combustible (Nm^3/s)

PCS = poder calorífico superior (kJ/Nm^3)

E2: Calor sensible del aire

$$Q_s = Q \times \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{100} \times c_{pi} \times (t_e - t_r)$$

Q_s = calor sensible (kW)

Q = caudal de aire (Nm³/s)

a_i = porcentaje del elemento i en volumen

C_{pi} = calor específico medio del elemento i (kJ/Nm³°C)

t_e = temperatura de entrada

t_r = temperatura de referencia

Para obtener estos datos se necesitaría un laboratorio. No obstante, si el aire se toma del ambiente, el calor con el que entra puede considerarse nulo.

E3: Calor sensible de la humedad del aire

$$Q_s = Q \times \frac{a_i}{100} \times c_p \times (t_e - t_r)$$

Se obtiene el calor que entra con el agua contenido en el aire. Si el aire se toma del ambiente, será despreciable. En caso contrario, habría que analizar la humedad del aire y hallar su calor sensible.

E4: Calor en el fluido

La forma más sencilla de medirlo es mediante un contador de calorías. Si no se dispone de este equipo, habría que calcular el calor sensible del agua que entra a la caldera.

$$Q_s = Q \times c_p \times (t_e - t_r)$$

Q_s = calor sensible (kW)

Q = caudal de agua (kg/s)

C_p = calor específico del agua (kJ/kg°C)

t_e = temperatura de entrada

t_r = temperatura de referencia

Calores salientes**S1: Calor sensible de humos**

A partir de los análisis de humos realizados a lo largo del año, se puede determinar el calor sensible de los humos a la salida.

$$Q_s = Q \times \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{100} \times c_{pi} \times (t_s - t_r)$$

Q_s = calor sensible (kW)

Q = caudal de humos (Nm³/s)

a_i = porcentaje del elemento i en volumen

C_{pi} = calor específico medio del elemento i (kJ/Nm³°C)

t_s = temperatura de salida

t_r = temperatura de referencia

La composición de los humos dependerá del tipo de combustible utilizado y del exceso de aire con que se realice la combustión. Otra forma de calcular el calor sensible de los humos es determinando su caudal y su calor específico medio.

S2: Calor de purgas

Se determinará mediante un contador de calorías o bien calculándolo en función del caudal de purga y el calor específico del agua.

S3: Calor perdido por radiación y por convección

El calor transmitido por radiación viene dado por:

$$Q = 5,67 \cdot 10^{-11} \times e \times [(T_e + 273)^4 - (T_a + 273)^4] \times S$$

Q= Calor irradiado (kW)

e= emisividad (dependerá de las características de la superficie)

T_e= temperatura de la superficie (°C)

T_a= temperatura ambiente del medio que rodea a la superficie radiante (°C)

S= superficie radiante (m²)

Las pérdidas por convección dependerán de la geometría y responden a fórmulas complicadas, por lo que habrá que estudiarlo en cada caso particular o bien acudir a datos del fabricante.

Normalmente, estas pérdidas se determinan por diferencia en el balance energético:

$$S3 = E1 + E2 + E3 + E4 - S1 - S2 - S4 - S5 - S6$$

S4: Calor en inquemados gaseosos

Calor debido a las sustancias que no se queman completamente en la combustión y salen con los humos: CO, CH y opacidad de los gases.

$$Q = \frac{21}{21 - O_2} \times \left(\frac{CO}{3100} + \frac{CH}{1000} \right)$$

Q= pérdidas por inquemados

O₂= % de oxígeno en los gases

CO= partes por millón de CO en los gases

CH= partes por millón de hidrocarburos en los gases

S5: Calor por inquemados sólidos

El Índice de Bacharach se basa en el ennegrecimiento de un papel de filtro al paso de una corriente gaseosa. Hay 6 niveles, del 1 al 6, con fracciones del 0, 20, 40, 60 80 y 100% de opacidad respectivamente.

$$Q = \frac{21}{21 - O_2} \times \left(\frac{OP}{65} \right)$$

OP= % de opacidad

S6: Calor del vapor

Este es el calor útil que se utilizará para los procesos. Se determinará tomando medidas mediante un contador de calorías o bien midiendo el caudal y las condiciones del vapor.

$$Q_v = Q \times h_v$$

Q_v = Calor del vapor

Q = caudal de vapor (kg/s)

h_v = entalpía del vapor (kJ/kg)

Balance de calores

$$E1 + E2 + E3 + E4 = S1 + S2 + S3 + S4 + S5 + S6$$

Rendimiento de la caldera

Con los resultados del apartado anterior, se procederá a calcular el rendimiento de la caldera, según la expresión:

$$\eta = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calores Entrantes}} \times 100 = \frac{S6}{E1 + E2 + E3 + E4} \times 100$$

Este valor sirve para comparar la eficiencia del equipo con otros de las mismas características y dar un diagnóstico de su funcionamiento.

Producción de vapor por unidad de combustible

Para dar una idea de la eficiencia del equipo y compararla con la de otras calderas también es interesante considerar la cantidad de vapor producida por unidad de combustible quemado, que se calcula como¹⁶:

$$a = \eta \times \frac{\text{PCI}}{h_v - t_a}$$

a = producción de vapor por unidad de combustible (t de vapor/unidad de combustible $\times 10^3$)

h_v = entalpía del vapor a la salida de la caldera (kcal/kg vapor)

t_a = temperatura del agua de alimentación a la caldera (°C)

PCI = poder calorífico inferior del combustible (kcal/unidad de combustible)

η = rendimiento de la caldera

Informe técnico-económico

Teniendo en cuenta experiencias anteriores de ahorro energético en instalaciones de características similares y una vez examinados los datos recogidos, se seleccionarán aquellas medidas de ahorro que resulten rentables y favorezcan el ahorro energético, tales como, por ejemplo, la instalación de un economizador, el precalentamiento del agua de alimentación, la regulación automática de la combustión, el tratamiento del agua, la reducción de las purgas, el aislamiento de la caldera o el precalentamiento del fuelóleo. Véase el apartado de Calderas en Mejoras Energéticas Horizontales.

¹⁶ Fuente: Manual de eficiencia energética térmica en la industria. CADEM, 1984.

Para cada medida seleccionada, se cuantificarán los ahorros energéticos como diferencia entre los consumos actuales y los consumos tras la mejora. Se determinará a continuación la viabilidad de la mejora. Habrá que tener en cuenta los costes de mantenimiento, mano de obra e inversión a realizar, englobando equipos, montaje y puesta en marcha. Se calculará el TIR, el VAN o, típicamente, el periodo de retorno de la inversión.

Finalmente se recogerán en un informe todas estas medidas con los ahorros obtenibles, la inversión a realizar y el periodo de recuperación de la inversión, de modo que se puedan tomar las decisiones oportunas.

Caso práctico

Para facilitar la comprensión de lo que se pretende con una auditoría energética y su metodología de realización, se incluye el ejemplo de una caldera de fuelóleo utilizada en una empresa láctea que genera 3.000 kg/h de vapor. En la tabla que figura a continuación se recogen los datos de operación y consumo de la caldera.

Concepto	Valor	Unidad
Consumo de fuelóleo	233	kg/s
Poder calorífico inferior (PCI)	9.600	kJ/kg
Temperatura combustible	85	°C
Caudal de aire	5.310	kg/s
Temperatura del aire	18	°C
Humedad absoluta	0,0105	kg agua/kg aire
Exceso de aire	64,2	%
Porcentaje de O ₂	8,5	%
Porcentaje de CO ₂	9,5	%
Porcentaje de CO	0	%
Temperatura de humos de combustión	248	°C
Índice de Bacharach	3	IB
Caudal de humos de combustión	5.374	kg/s
Calor específico medio de humos	0,243	kJ/kg °C
Superficie de radiación total	50,2	m ²
Temperatura media superficial	34,1	°C
Coeficiente medio de transmisión de calor	6,454	kJ/sm ² °C
Temperatura ambiente	18	°C
Temperatura base de entalpías	18	°C
Caudal de agua de alimentación	3.607	kg/s
Temperatura del agua de alimentación	49	°C
Caudal de purga	30	kg/s
Entalpía del agua de purga	193,3	kW
Producción de vapor	3.037	kg/s
Entalpía del vapor	664,9	kJ/kg

Tabla 51. Ejemplo de análisis energético de una caldera.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de estos datos se completarán las tablas de calores entrantes y salientes, con los que se calcula el balance energético y el rendimiento de la caldera.

	Concepto	MW
E1	Combustible	2.602,8
E2	Aire	0
E3	Humedad del aire	0
E4	Fluido	107,9
	Total calores entrantes	2.710,7

Tabla 52. Ejemplo de calores entrantes a una caldera.

Fuente: Elaboración propia

	Concepto	MW
S1	Humos	374,4
S2	Purgas	6,1
S3	Radiación y convección	8,8
S4	Inquemados gaseosos	0
S5	Inquemados sólidos	92,0
S6	Calor útil	2.229,4
	Total calores salientes	2.710,7

Tabla 53. Ejemplo de calores salientes de una caldera.

Fuente: Elaboración propia

El rendimiento de la caldera se calcula como:

$$\eta = \frac{\text{Calor útil}}{\text{Calores Entrantes}} \times 100 = \frac{35.131.181}{28.893.447} \times 100 = 82,2\%$$

Y la producción de vapor por unidad de combustible resulta:

$$a = 0,822 \times \frac{9.600}{664,9 - 49} = 12,81 \text{ t vapor/t fuelóleo}$$

A la vista de estos resultados, parece oportuno introducir mejoras que aumenten el rendimiento del generador de vapor, a la vez que disminuyan el consumo de combustible y favorezcan, por tanto, el ahorro energético, tales como, por ejemplo, la instalación de un economizador, el precalentamiento del agua de alimentación, la regulación automática de la combustión, el tratamiento del agua, la reducción de las purgas, el aislamiento de la caldera o el precalentamiento del fuelóleo. Véase el apartado de Calderas en Mejoras Energéticas Horizontales.

Auditoría en el pasteurizador

Uno de los principales equipos y de mayor uso en las industrias lácteas es el pasteurizador (véase Equipos de Proceso), que es básicamente un intercambiador de calor. Por tanto, la auditoría de este equipo puede servir de modelo para la realización de las auditorías del resto de los intercambiadores de calor de la fábrica. En la figura 26 se muestra un esquema de funcionamiento de uno de estos equipos y se indican los flujos entrantes y salientes. Las temperaturas que se incluyen son orientativas, y corresponden a las del caso práctico que se desarrollará posteriormente de un pasteurizador, al que se le ha añadido una mejora de regeneración.

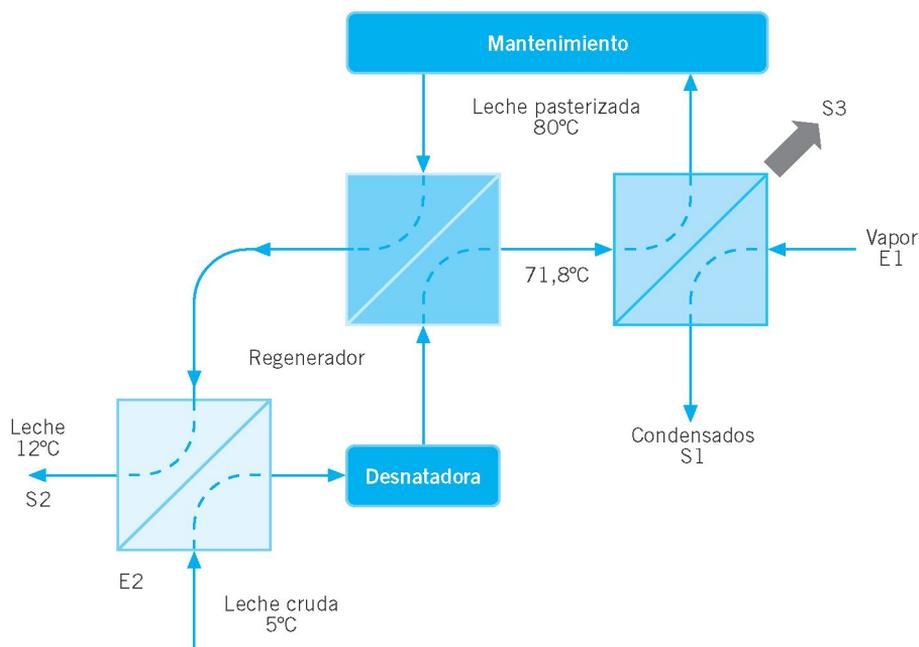


Figura 26. Esquema de un pasteurizador con regeneración.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se explica cómo se realizaría una auditoría energética en un pasteurizador siguiendo las fases indicadas en el apartado de Metodología.

Toma de datos

En la tabla 54 se recogen los datos necesarios para la realización de la auditoría y que permitirán determinar el tanto por ciento de regeneración (véase Equipos de Proceso), así como el balance energético.

Se tomarán medidas de temperatura y de presión a la entrada y a la salida del pasteurizador para la leche y para el vapor, así como de los caudales. Las pérdidas por radiación y convección se calcularán por cierre de balance o por datos proporcionados por el fabricante. También pueden usarse contadores de calorías para realizar el balance energético.

Concepto	Valor	Unidad
Caudal de leche		m ³ /s
Densidad de la leche		kg/m ³
Calor específico de la leche		kJ/kg°C
Caudal nominal de vapor		kg/s
Caudal de vapor consumido		kg/s
Presión del vapor		kPa
Entalpía del vapor		kJ/kg
Entalpía de los condensados		kJ/kg
Temperatura de entrada de la leche cruda		°C
Temperatura de salida leche zona regeneración		°C
Temperatura de salida leche zona pasteurización		°C
Temperatura salida leche pasteurizada zona regeneración		°C
Temperatura base de entalpías		°C
Pérdidas por radiación y convección		%
Porcentaje de regeneración		%

Tabla 54. Análisis energético de un pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia.

Diagnóstico de las instalaciones

Con los datos obtenidos se procederá a calcular el flujo de calores entrantes y salientes, que permitan realizar el balance energético y se calculará la regeneración si no se conoce el dato. En el apartado de Equipos de Proceso se incluye una fórmula para su cálculo.

Una vez calculados, se realizará el diagnóstico de la instalación, comparándola con otras similares y detectando posibles ahorros energéticos.

Balance de energía

Su finalidad es identificar en qué se consume la energía y cuáles son las pérdidas para tratar de reducirlas en la medida de lo posible.

La tabla 54 resume los datos que deben obtenerse para calcular los calores entrantes y salientes, utilizando para ello la siguiente expresión:

$$Q_s = Q \times h$$

$$h = c_p \times (t - t_r)$$

Q_s = calores sensibles (kW)

Q = caudal (kg/s)

h = entalpía a la temperatura t y a la presión p (kJ/kg)

c_p = calor específico a la presión p (kJ/kg°C)

t = temperatura del fluido

t_r = temperatura de referencia

Las tablas 55 y 56 recogen estos flujos de calor, si bien S3 se calcula por cierre de balance.

	Concepto	MW
E1	Vapor	
E2	Leche	
	Total calores entrantes	

Tabla 55. Calores entrantes al pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia

	Concepto	MW
S1	Condensados	
S2	Leche pasteurizada	
S3	Radiación y convección	
	Total calores salientes	

Tabla 56. Calores salientes del pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de estas tablas y los de la tabla 54 se completará el diagnóstico de la instalación, comparando las pérdidas y la regeneración con las de otros equipos similares. Se consigue así conocer la situación actual del equipo.

Informe técnico-económico

Tras realizar el diagnóstico del pasteurizador, se considerarán las posibles mejoras, estudiando su rentabilidad, inversiones a realizar y período de retorno de la inversión.

Entre estas mejoras pueden citarse: recuperación de condensados, aumento del tanto por ciento de regeneración, aislamientos, etc. (Véase Mejoras en Intercambiadores de Calor).

Caso práctico

Como ejemplo de aplicación se desarrollará a continuación la auditoría energética de un pasteurizador que se utiliza para pasteurizar 18.000 l/h de leche a 80°C con regeneración, usando un caudal de vapor de 300 kg/h a una presión de 6 kg/cm². En la tabla 57 se presentan los datos de funcionamiento del equipo.

Concepto	Valor	Unidad
Caudal de leche	0,005	m ³ /s
Densidad de la leche	1.050	kg/m ³
Calor específico de la leche	3,887	kJ/kg°C
Caudal de vapor consumido	0,164	kg/s
Presión del vapor	600	kPa
Entalpía del vapor	2574,6	kJ/kg
Entalpía de los condensados	692,21	kJ/kg
Temperatura de entrada de la leche cruda	5	°C
Temperatura de salida leche zona regeneración	71,8	°C
Temperatura de salida leche zona pasteurización	80	°C
Temp. salida leche pasteurizada zona regenerac.	20	°C
Temperatura base de entalpías	5	°C
Pérdidas por radiación y convección	13	%
Porcentaje de regeneración	78,4	%

Tabla 57. Ejemplo de análisis energético de un pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se obtiene el balance energético, tras realizar los cálculos pertinentes. Los resultados se resumen en las tablas 58 y 59.

	Concepto	MW
E1	Vapor	447,19
E2	Leche	0
	Total calores entrantes	447,19

Tabla 58. Ejemplo de calores entrantes a un pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia

	Concepto	MW
S1	Condensados	98,19
S2	Leche pasteurizada	306,13
S3	Radiación y convección	42,87
	Total calores salientes	447,19

Tabla 59. Ejemplo de calores salientes de un pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia

Estos datos permiten conocer la procedencia de los flujos de energía entrante (el vapor) y cuáles son los flujos de energía saliente. Se observa la cuantía de las pérdidas por radiación y convección, si bien no son excesivas. Hay que destacar que la leche pasteurizada absorbe la mayor parte de la energía, por lo que sería el principal objetivo en las acometidas de mejora. También se detecta un bajo porcentaje de regeneración, ya que en algunos equipos llega al 95%.

A la vista de estos resultados, puede proponerse la colocación de placas suplementarias en la zona regenerativa del intercambiador, a fin de aumentar el tanto por ciento de regeneración, como se muestra en el apartado relativo a Mejoras Energéticas.

6. MEJORAS ENERGÉTICAS

En las industrias lácteas, como en la mayor parte de las industrias agroalimentarias, pueden distinguirse entre mejoras energéticas en gestión de la producción, mejoras horizontales –las correspondientes a aislamientos, generación y distribución de calor, frío y aire comprimido, etc.– y mejoras de proceso –las asociadas con equipos o procesos específicos del sector lácteo-quesero.

Dentro de los equipos horizontales, las mejoras en generación y distribución de calor y frío son prioritarias, dada la importancia de los consumos energéticos asociados a dichos procesos, que pueden superar, a título orientativo, el 80% de la factura energética de la fábrica.

La generación y distribución de aire comprimido tiene su importancia dentro de los procesos de limpieza y control, pero, por término general, no representa más del 5% de la factura energética.

Si bien la repercusión energética de las mejoras en intercambiadores de calor y en la red de distribución de vapor varía en función de las características de cada fábrica, en una industria láctea que genere una media de 2.500 kg/h de vapor saturado a una presión de 6 kg/cm², el ahorro energético estimado, expresado en términos económicos, puede alcanzar el 2% de la factura energética.

Las mejoras energéticas en equipos eléctricos horizontales, tales como motores, lámparas, rectificadores y generadores (caso de existir cogeneración) afectan en torno al 2% del consumo energético total –dejando al margen los consumos eléctricos asociados a la producción de frío– si bien su influencia en la factura energética es superior y puede alcanzar el 3,5%¹⁷.

En los equipos de proceso, las mejoras a introducir deben ir orientadas a aquellos equipos con mayores consumos energéticos asociados, como son, entre otros, los sistemas de limpieza CIP (Cleaning In Place), los homogeneizadores, los secaderos, los pasteurizadores y los esterilizadores.

6.1. GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

La programación y optimización de la producción es un área que ofrece un alto potencial en cuanto a la reducción de los consumos energéticos.

Equilibrar el ritmo productivo de la industria láctea contribuye a mejorar los rendimientos energéticos de los procesos y, en definitiva, a racionalizar el uso de la energía. En este sentido, las medidas a destacar son las siguientes:

¹⁷ Fuente: Estimación realizada a partir de una muestra de 32 empresas.

- Estudiar las causas que provocan saltos bruscos en la demanda de energía eléctrica y modificar las condiciones de operación para evitarlos.
- Emplear los equipos de mayor rendimiento a su máxima capacidad, y los de menor rendimiento sólo cuando sea necesario.
- Programar las operaciones de mantenimiento para los tiempos de parada de la instalación.
- Adquirir equipos de capacidad y tamaño óptimo con alto rendimiento energético.
- Utilizar el transporte por gravedad siempre que sea posible.
- Convertir operaciones discontinuas en continuas para evitar calores residuales.
- Programar las operaciones básicas discontinuas con el fin de minimizar el uso de la energía.
- No mantener en funcionamiento equipos de transporte o de calentamiento cuando no sea necesario.
- Emplear controles automáticos para evitar las crestas y valles en la demanda de energía.
- Variar los diseños de producción para reducir los consumos energéticos del proceso.

6.2. MEJORAS HORIZONTALES

Dentro de las tecnologías horizontales, las mejoras de la eficiencia energética más significativas se centran en los siguientes puntos:

- Calderas.
- Distribución de vapor.
- Intercambiadores de calor.
- Sistemas de frío.
- Aire comprimido.
- Aislamientos.
- Bombas y ventiladores.

La cuantificación de las posibilidades de ahorro en la Industria Láctea en tecnologías horizontales se ve dificultada por la gran diferencia de calidad, mantenimiento y seguimiento energético de los equipos instalados. Por este motivo, los ejemplos y estimaciones de ahorro energético analizados han de entenderse a título orientativo, exigiendo un estudio detallado de viabilidad técnica y económica para cada fábrica.

6.2.1. Calderas

La producción de vapor o agua caliente tiene lugar en calderas que son alimentadas con fuelóleo, gas natural y, en menor medida, con gasóleo C.

La eficiencia de las calderas suele ser del orden del 80-92% y las pérdidas de calor tanto en producción como en el sistema de distribución en la red de distribución pueden alcanzar el 15%. Por lo tanto, sólo entre el 65 y el 77% de la energía térmica total del combustible puede ser utilizada en el proceso productivo¹⁸.

¹⁸ Fuente: Manual de industrias lácteas, 1996.

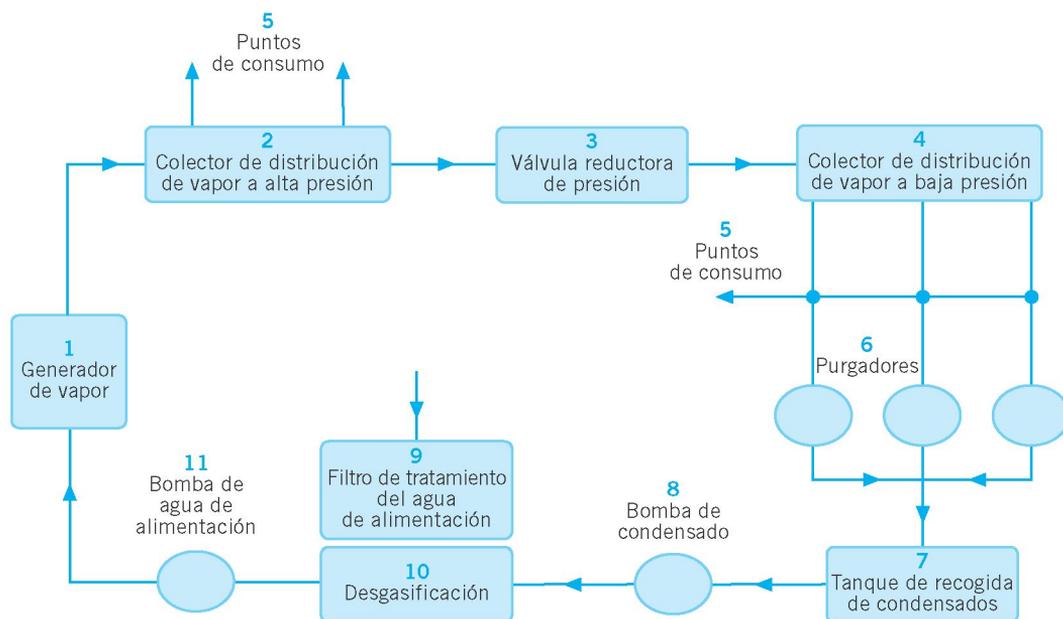


Figura 27. Producción de vapor y sistema de distribución.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 27 muestra un diagrama simplificado del sistema de generación y distribución de vapor. El agua de alimentación suele contener sales de calcio, que comunican dureza al agua, así como oxígeno y anhídrido carbónico, lo que aconseja su tratamiento. En caso contrario, las sales se depositarán en el sistema y formarán incrustaciones sobre la caldera, lo que supondrá una reducción drástica de su rendimiento. Por ello, es necesaria la inclusión en el sistema de filtros para tratar el agua –número 9 en la figura 27– que eliminan las sales de calcio y magnesio.

El oxígeno puede causar problemas graves de corrosión en los conductos de agua y vapor. Los equipos desgasificadores (10) eliminan los gases presentes en el agua de alimentación. Las impurezas que constituyen los fangos se eliminan por medio de un purgado de la caldera.

Una bomba de alimentación de agua mantiene el nivel constante dentro de la caldera. Al quemar el combustible en el quemador de la caldera, los gases de combustión desprendidos calientan el agua hasta convertirla en vapor. Se necesitan alrededor de 2.260 kJ a presión atmosférica para convertir un kilogramo de agua en vapor. Este calor de vaporización se liberará cuando el vapor se condense sobre las superficies de transferencia térmica en los puntos de consumo (5).

El condensado se separa mediante purgadores (6) y un tanque de recogida de condensados (7) y se bombea a la caldera por medio de una bomba de condensados.

A continuación se describen algunas de las mejoras más importantes desde el punto de vista del aumento de la eficiencia energética en la producción de vapor, como son: la optimización de la combustión mediante su regulación automática, la instalación de un economizador, la recuperación del calor de purga y la reducción de su caudal.

Optimización de la combustión mediante su regulación automática

Generalmente, la regulación del exceso de aire de combustión de los generadores de vapor se realiza manualmente, sobre la base de mediciones instrumentales diarias, lo que implica un gasto innecesario de energía térmica. Para evitar esta situación, se debe regular la cantidad de aire de combustión de forma que sea la mínima posible, pero asegurando al mismo tiempo que no se produzcan inquemados (CO y H_2), y mantener ambas condiciones para cualquier carga de los generadores.

La forma de conseguir una regulación acorde y efectiva es automatizar el aporte de aire mediante un equipo que utilice sensores de medida y transductores electrónicos que envíen la señal a un microprocesador. A partir de los datos recibidos, se corrige la posición de la compuerta para regular el exceso de aire, así como el resto de parámetros en la combustión.

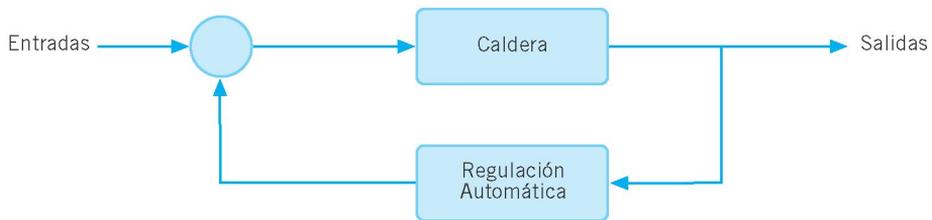


Figura 28. Regulación automática de calderas.

Fuente: Elaboración propia.

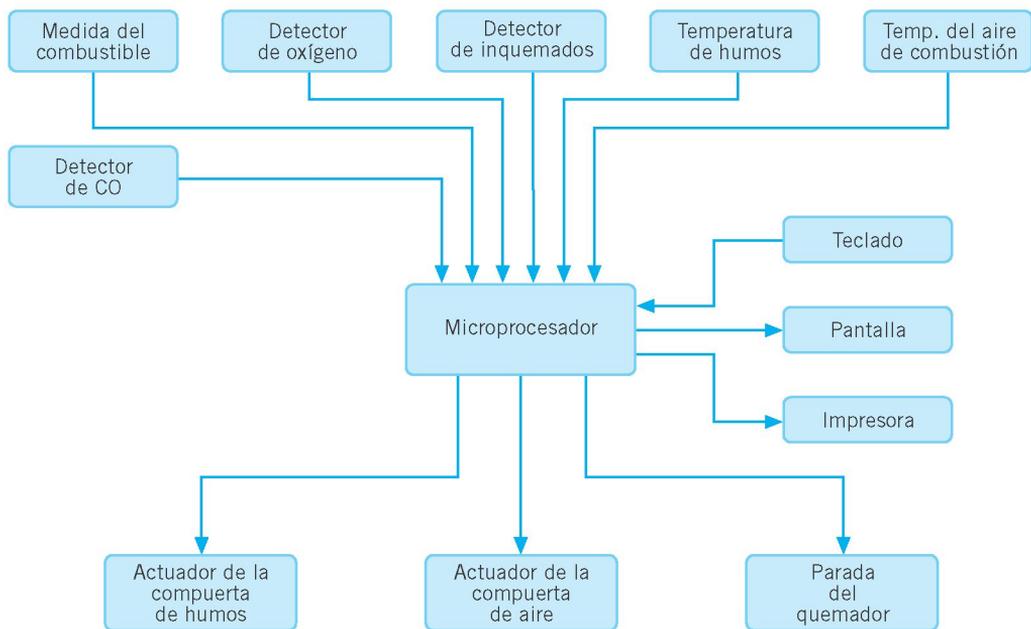


Figura 29. Sistema de Regulación.

Fuente: Elaboración propia.

El ejemplo siguiente representa una aplicación práctica de la mejora en una caldera que produce 3.000 kg/h con 1.984 horas de funcionamiento anual. El resto de los datos relevantes de la instalación se muestran en la tabla 60.

Concepto	Valor Actual	Valor tras la mejora	Unidad
Consumo de fuelóleo	233	220	kg/h
Poder calorífico inferior (PCI)	9.600	9.600	kcal/kg
Caudal de aire	5.310	3.509	kg/h
Exceso de aire	64	15	%
Porcentaje de O ₂	8,5	3	%
Porcentaje de CO ₂	9,5	13,5	%
Porcentaje de CO	0	0	%
Temperatura de humos de combustión	248	230	°C
Índice de Bacharach	3	2	IB
Caudal de humos de combustión	5.543	3.729	kg/h

Tabla 60. Análisis energético de una caldera con regulación automática.

Fuente: Elaboración propia.

La regulación automática supone una mejora en el rendimiento de la caldera, que pasa del 82,2% al 88%, de forma que el ahorro energético es de $(233-220) \text{ kg/h} \times 1.984 \text{ h/año} = 25.792 \text{ kg de fuelóleo al año (25 tep/año)}$.

Suponiendo un precio de 0,30 € para el kilogramo de fuelóleo, el ahorro económico obtenido es de $25.792 \text{ kg/año} \times 0,30 \text{ €/kg} = 7.738 \text{ €/año}$.

Con una inversión requerida de 31.000 € resulta un periodo de retorno de:

$$\frac{31.000 \text{ €}}{7.738 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 48 \text{ meses}$$

Instalación de un economizador

El calor de los humos de combustión del generador de vapor puede recuperarse antes de su salida a la atmósfera y aprovecharse para precalentar el agua de alimentación y, en ocasiones, el aire de entrada al generador.

Instalando un economizador a la salida de los humos del generador – véase la figura 30 - se puede aprovechar parte de la energía sensible de los humos para calentar el agua de alimentación del generador antes de entrar al calderín superior.

Los economizadores son intercambiadores de calor, generalmente formados por paquetes tubulares, que se incorporan o no al cuerpo del generador de vapor.

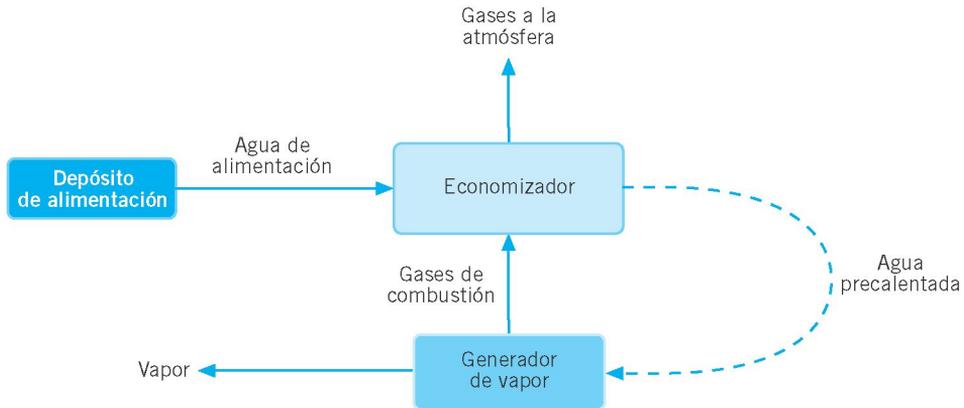


Figura 30. Esquema de economizador para el generador de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Existen una serie de límites técnicos en su diseño. La primera limitación surge del hecho de que los humos procedentes de los combustibles líquidos derivados del petróleo (fuelóleo y gasóleo) tienen azufre entre sus componentes. En la combustión el azufre se une al oxígeno del aire comburente formando anhídrido sulfuroso que es inestable y reacciona fácilmente con el vapor de agua, también procedente de la combustión, formándose ácido sulfúrico.

El punto de rocío del ácido sulfúrico depende del tanto por ciento de azufre en el combustible y de la composición de los gases. En el caso de que el combustible utilizado en la caldera sea fuelóleo, la temperatura a la salida del economizador debe ser como mínimo de 170-180 °C. Si el combustible es gasóleo, la temperatura de salida puede ser algo inferior, de 160 a 170 °C.

La otra limitación procede de la próxima situación térmica. Al ser intercambiadores de calor, las diferencias de temperatura entre los humos y el fluido a calentar deberán ser superiores a los 40 °C para que la construcción sea rentable.

A título de ejemplo, se muestra el ahorro energético de la instalación de un economizador en un generador de vapor con un rendimiento del 88% que produce 3.000 kg/h de vapor a 6 kg/cm² trabajando 1.984 horas al año y con un consumo anual de 462.182 kg de **gasóleo**.

Se hacen pasar los humos, cuyo caudal alcanza los 4.080 kg/h a 265 °C por un intercambiador de calor para calentar el caudal de agua de alimentación de 49 °C hasta 74,8 °C, con lo que, si se tiene en cuenta que el calor específico del agua es de 1,0032 kcal/kg°C, supone una recuperación neta de energía de:

$$3.000 \text{ kg/h} \times (74,8 - 49)^\circ\text{C} \times 1,0032 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 77.648 \text{ kcal/h}$$

El ahorro energético de la implantación de la mejora sería:

$$\frac{77.648 \text{ kcal/h} \times 1.984 \text{ h/año}}{10.100 \text{ kcal/kg} \times 0,88} = 17.333 \text{ kg de gasóleo/año (17,9 tep/año),}$$

que representa un ahorro porcentual del

$$\frac{17.333 \text{ kg/año}}{462.182 \text{ kg/año}} \times 100 = 3,75\%$$

Dicho ahorro energético se traduce en un ahorro económico, asumiendo un precio medio de 0,60 €/kg de gasóleo (impuestos incluidos) de:

$$17.333 \text{ kg/año} \times 0,60 \text{ €/kg} = 10.400 \text{ €/año}$$

La temperatura final de los gases (t_f) puede calcularse, para un calor específico de los humos de 0,255 kcal/kg°C, como:

$$4.080 \text{ kg/h} \times (265 - t_f)^\circ \text{C} \times 0,255 \text{ kcal/kg}^\circ \text{C} \cong 77.648 \text{ kcal/h} \Rightarrow t_f = 190^\circ \text{C}$$

temperatura que, en principio, no representa ningún problema de corrosión.

Suponiendo una inversión de 11.000 €, el periodo de retorno se sitúa en:

$$\frac{11.000 \text{ €}}{10.400 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 13 \text{ meses}$$

Recuperación del Calor de Purga

Por purga de calderas se entiende el proceso de extracción de una cierta cantidad de agua del interior de la caldera, con el fin de evitar una alta concentración de los sólidos disueltos por la explotación de la misma, así como para dar salida a aquellos que pudiera haber en suspensión en el agua.

Al producirse la purga en la caldera, y dado que el agua está a la temperatura de saturación, se produce una importante pérdida de energía. Para paliar dicha pérdida, es posible recuperar parte de la energía evacuada mediante la instalación de un depósito de flash más un intercambiador de calor.

Los resultados de la recuperación de calor se exponen sobre el ejemplo de una caldera piro-tubular de **gas natural** que produce 3.000 kg/h de vapor saturado a una presión de 6 kg/cm² (temperatura de vapor saturado de 157 °C) con un rendimiento del 88%. La caldera trabaja 1.984 horas al año.

El caudal de purgas alcanza los 140 kg/h con una entalpía de purga de 160 kcal/kg.

Se plantea la recuperación del calor de purga mediante la producción de vapor de flash a 1 kg/cm² (temperatura de vapor saturado de 99 °C) y la instalación de un intercambiador de calor para verter la purga a 30 °C. Los valores de la entalpía del líquido y del vapor saturado a 1 kg/cm² son de 99 kcal/kg y 640 kcal/kg respectivamente. A 30 °C se toma una entalpía de 31 kcal/kg.

El vapor de flash producido en el depósito de flash será:

$$140 \text{ kg/h} \times \frac{(160 - 99) \text{ kcal/kg}}{(640 - 99) \text{ kcal/kg}} = 15,78 \text{ kg/h}$$

con lo que se verterán como purga líquida $140 - 15,8 = 124,2 \text{ kg/h}$.

Si el agua de la purga se enfría hasta 30°C, la energía recuperada es de:

$$124,2 \text{ Kg/h} \times (99 - 30)^\circ\text{C} \times 1,0032 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 8.597 \text{ kcal/h}$$

En este primer intercambiador, se consigue elevar la temperatura del agua de alimentación desde 38,6°C hasta:

$$3140 \text{ kg/h} \times (t_f - 38,6)^\circ\text{C} \times 1,0032 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} = 8.597 \text{ kcal/h} \Rightarrow t_f = 41,3^\circ\text{C}$$

Por otro lado, la energía recuperada del vapor de flash a 99°C puede calcularse como:

$$15,8 \text{ kg/h} \times 640 \text{ kcal/kg} = 10.112 \text{ kcal/h}$$

En este intercambiador, la temperatura del agua de alimentación se eleva desde 41,3°C hasta:

$$15,8 \text{ kg/h} \times (640 - 99) \text{ kcal/kg} = 3.140 \text{ kg/h} \times (t_f - 41,3)^\circ\text{C} \times 1,0032 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C} \Rightarrow t_f = 44^\circ\text{C}$$

El ahorro energético total asciende a 18.681 kcal/h (37,06 Gcal/año) y el ahorro en términos de combustible a:

$$\frac{37.060.000 \text{ kcal/año}}{10.119 \text{ kcal/Nm}^3 \times 0,88} = 4.162 \text{ Nm}^3 \text{ de gas natural al año} = 43.405,5 \text{ kWh}$$

Tomando un precio medio de 0,022087 €/kWh para el gas natural, el ahorro económico anual alcanza las 959 €.

Con un intercambiador de 10 placas, cuyo coste aproximado es, incluyendo la instalación, de 2.500 €, resulta un periodo de retorno de:

$$\frac{2.500 \text{ €}}{959 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 31 \text{ meses}$$

Esta mejora puede complementarse con la reducción del caudal de purga, que se describe a continuación.

Reducción del caudal de purga

La purga excesiva de una caldera puede suponer pérdidas que alcanzan el 5% del vapor generado, si bien lo normal es que se sitúen entre el 0,5 y el 2%. Por el contrario, una purga menor de la necesaria originaría la concentración de sólidos en la caldera con el consiguiente peligro de arrastre de sales que dará lugar a un aumento de las incrustaciones. Como consecuencia, en la explotación de las calderas se procura que la operación de purga no rebase la magnitud necesaria para mantener un contenido de sal en la caldera dado por la norma UNE 9.075/92.

Existen dos formas de mejorar la eficiencia energética de las calderas mediante la reducción del caudal de purgas:

- Instalar una purga continua y automática, que se compone de una válvula de purgado continuo, un electrodo para el control de la conductividad y un regulador automático del caudal que actuará en función de la conductividad detectada.

- Instalar un sistema de tratamiento del agua de alimentación de la caldera que reduzca su nivel de salinidad. De esta forma, es posible reducir el caudal de purga sin temor a la formación de incrustaciones.

Las mejoras anteriores se comentan sobre el ejemplo de una caldera piro-tubular de fuelóleo que produce 3.000 kg/h de vapor saturado a una presión de 6 kg/cm². La caldera trabaja 1.984 horas al año con un rendimiento del 88%.

El retorno de condensados alcanza los 2.250 kg/h y la salinidad del agua de aporte es de 750 mg/l.

De acuerdo con la norma UNE 9.075/92, la salinidad total máxima en el agua de una caldera piro-tubular es de 6.000 mg/l. La purga necesaria para mantener la salinidad dentro del valor que fija la norma puede calcularse como:

$$\frac{3.000 - 2.250}{6.000 - 750} \times 750 = 107 \text{ kg/h}$$

Si se considera la instalación de un sistema de tratamiento de agua que reduzca los niveles de salinidad a 200 mg/l, el caudal de purga podría reducirse a:

$$\frac{3.000 - 2.250}{6.000 - 200} \times 200 = 25,9 \text{ kg/h}$$

Si la instalación no cuenta con un sistema de recuperación del caudal de purgas –descrito en la mejora anterior– la reducción de las pérdidas se sitúa, tomando la entalpía de purga de vapor saturado a 6 kg/cm² como 160 kcal/kg, en:

$$(107 - 25,9) \text{ kg/h} \times 160 \text{ kcal/kg} = 12.976 \text{ kcal/h}$$

con lo que el ahorro de combustible resulta ser:

$$\frac{12.976 \text{ kcal/h}}{0,88 \times 9.600 \text{ kcal/kg}} \times 1.984 = 3.047 \text{ kg de fuelóleo al año (2,9 tep/año)}$$

Dicho ahorro energético se traduce en un ahorro económico de 3.047 kg/año \times 0,30 €/kg = 914 € al año.

6.2.2. Distribución de vapor

Como medio de calentamiento en la Industria Láctea se emplea normalmente vapor a una temperatura de 140-150 °C y a presiones que varían entre los 0,2 y los 7 kg/cm²¹⁹. En algunas fábricas construidas recientemente se utiliza, en lugar de vapor, agua caliente como medio de calentamiento. Como la mayoría de los equipos requieren que el agua esté a alrededor de 100 °C para llevar a cabo el calentamiento, la presión en este sistema debe ser superior a la atmosférica, con objeto de evitar que el agua hierva.

El coste de una instalación de agua sobrecalentada es ligeramente inferior al de una instalación de vapor. El sistema es también más fácil de regular y su funcionamiento es más simple. Existe una desventaja y es que la transferencia de calor en el sistema de agua caliente es inferior a la del vapor.

¹⁹ Fuente: Manual de industrias lácteas. Tetra Pak.

Dentro de la red de distribución de vapor es importante atender a la **separación y retorno de los condensados**. El vapor que circula por el sistema de tuberías que constituye la red de distribución se enfría por el ambiente que le rodea y, por tanto, comienza a condensarse. Es posible reducir esta condensación aislando las tuberías, aunque nunca puede evitarse completamente. Por ello, las tuberías se deben instalar con una ligera pendiente o inclinación hacia los puntos donde se eliminan los condensados.

En dichos puntos se instalan purgadores de vapor que permiten que pase el condensado (y si es posible también el aire) pero no el vapor. El condensado se retorna al tanque de condensados de la planta térmica por medio de bombas de condensados y a través de una red de distribución específica: la red de retorno de condensados.

El condensado puede retornar al tanque nodriza de alimentación de agua a la caldera por la propia presión de vapor, sin necesidad de utilizar ninguna bomba ni ningún tanque de condensados.

Las mejoras que se describen se centran en el aprovechamiento de los condensados y en la reducción de fugas de la red de distribución.

Aprovechamiento del condensado con recuperación del revaporizado

Suele ocurrir que, en algunas calderas, el condensado se recupera en un tanque abierto a la atmósfera, donde se produce un vapor de flash no aprovechado, tal y como se muestra en la figura 31.

Para mejorar la eficiencia energética en la distribución de vapor es posible sustituir dicho tanque abierto por varios tanques de condensado o tanques de flash que rabajan a las distintas presiones que se requieren en los procesos –véase la figura 32. De esta forma, los condensados procedentes de vapor a presiones altas pueden reutilizarse a menor presión, con el consiguiente ahorro de combustible en la caldera puesto que se necesita generar menos vapor. Mediante bombas de condensado, se conducirá el condensado de unos tanques a otros y de éstos al desgasificador.

El principio de funcionamiento del sistema de recuperación del revaporizado se describe a partir del ejemplo de una caldera de gas natural que produce 6.000 kg/h de vapor a 10 kg/cm² con un rendimiento del 88% y que trabaja 1.984 horas al año. Los consumos en proceso se realizan a presiones de 10/2, 10/5 y 2/0,5 kg/cm² en un circuito como el que se muestra en la figura 31.

En estas condiciones, suponiendo que el agua de aporte a la caldera entra a 10 °C y sabiendo que la temperatura de saturación es de 179 °C y que el calor latente de evaporación es de 2.015 kJ/kg, la energía necesaria para alcanzar la saturación puede calcularse como:

$$\frac{4,18\text{kJ/kg }^{\circ}\text{C} \times (179 - 10) ^{\circ}\text{C} \times 6.000 \text{ kg/h}}{1.000 \text{ kJ/MJ}} = 4.238,5 \text{ MJ/h}$$

Lo que representa un consumo de gas natural de:

$$\frac{4.238.500 \text{ kJ/h}}{42.358 \text{ kJ/Nm}^3 \times 0,88} = 113,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

o bien de 113,7 Nm³/h × 1.984 h/año = 225.598 Nm³/año (243,6 tep/año).

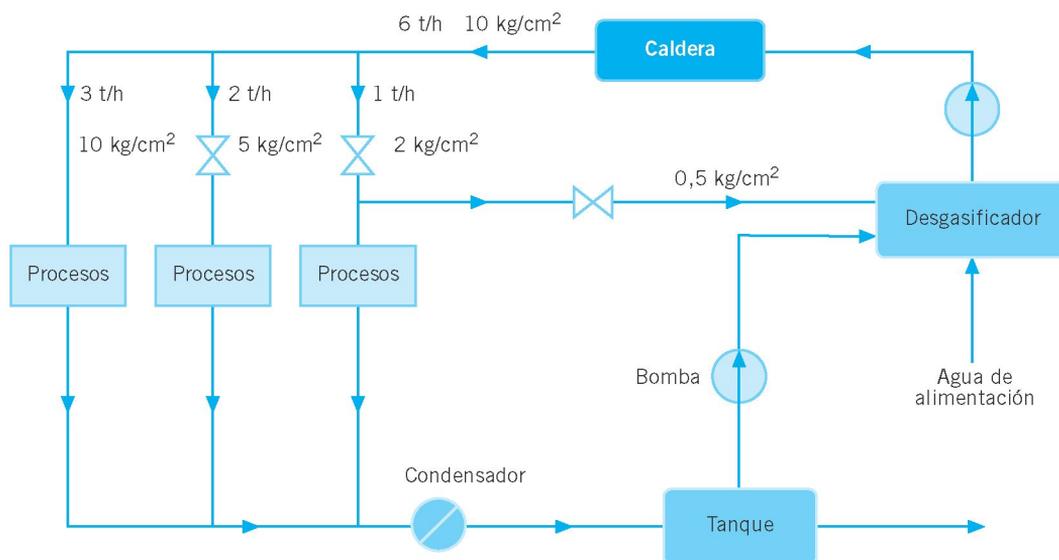


Figura 31. Instalación sin recuperación de revaporizado.

Fuente: Difusión de Mejores Prácticas y Nuevas Tecnologías en Distribución de Fluidos Térmicos. EREN.

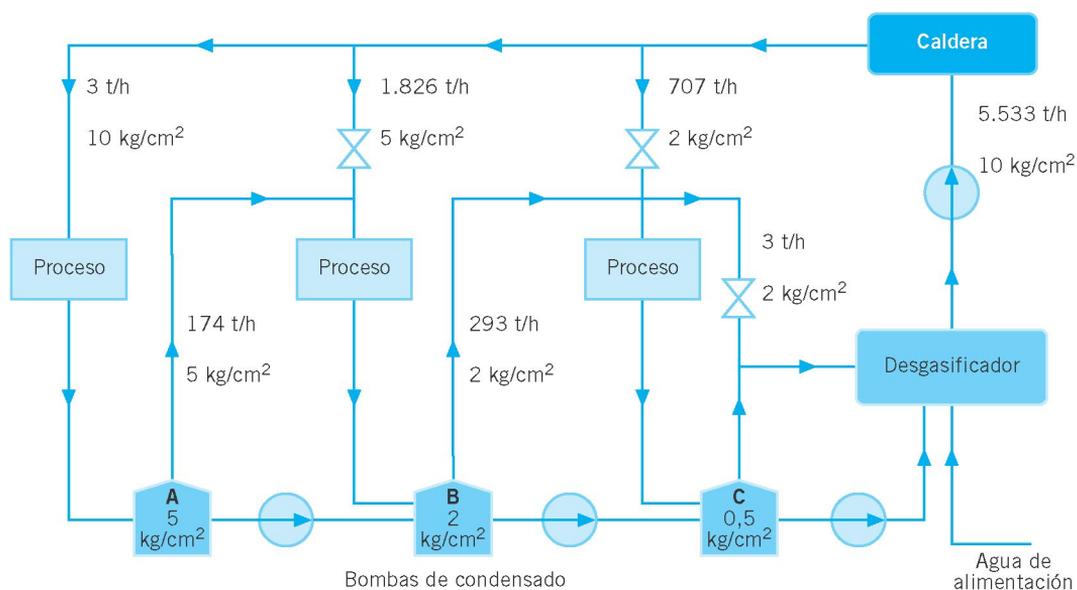


Figura 32. Instalación con recuperación de revaporizado.

Fuente: Difusión de Mejores Prácticas y Nuevas Tecnologías en Distribución de Fluidos Térmicos. EREN.

Con la instalación de tres tanques de flash, se obtiene vapor a las presiones intermedias que puede ser incorporado a los procesos productivos. Véase la figura 32.

En el tanque A entran 3.000 kg/h de condensado, que va a pasar de 10 a 5 kg/cm². El calor sensible del condensado a 10 kg/cm² es de 760,5 kJ/kg mientras que a 5 kg/cm² es de 638,1 kJ/kg. La diferencia (122,4 kJ/kg) es el calor obtenido en el condensado.

El calor latente de vaporización a 5 kg/cm² es de 2.107,3 kJ/kg, con lo que el vapor de flash formado sería:

$$(1) \frac{122,4}{2.107,3} \times 3.000 = 174 \text{ kg/h}$$

de vapor a 5 kg/cm² que se incorporan al proceso.

En el tanque B entran 2.000 kg/h de condensado procedentes del proceso y 2.826 kg/h procedentes del tanque A. Teniendo en cuenta que el calor sensible del vapor a 2 kg/cm² es de 504,5 kJ/kg y que el calor latente de vaporización a la misma presión es de 2.201,4, resulta:

$$(2) \frac{638,1 - 504,5}{2.201,4} \times 4.826 = 293 \text{ kg/h}$$

de vapor a 2 kg/cm² que se incorporan al proceso.

En el tanque C entran 4.533 kg/h de condensado, formándose un vapor de flash a 0,5 kg/cm² y condensado, que son conducidos al desgasificador.

Con el sistema de recuperación del revaporizado, la caldera sólo tiene que producir 6.000 – (1) – (2) = 5.533 kg/h en lugar de los 6.000 kg/h de la instalación original. El consumo energético asociado resulta ser de:

$$\frac{4,18 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C} \times (179 - 10) ^\circ\text{C} \times 5.533 \text{ kg/h}}{1000 \text{ kJ/MJ}} = 3.908,6 \text{ MJ/h}$$

Lo que representa un consumo de gas natural de:

$$\frac{3.908.600 \text{ kJ/h}}{42.358 \text{ kJ/Nm}^3 \times 0,88} = 104,9 \text{ Nm}^3$$

o bien de 104,9 Nm³/h × 1.984 h/año = 208.122 Nm³/año (224,8 tep/año).

El ahorro energético resultante asciende a (4.238,5 – 3.908,6) MJ/h × 1.984 h/año = 654.521 MJ/año (un 7,8% del total) y traducido a consumo de combustible de (225.598 - 208.039) Nm³/año = 17.559 Nm³ de gas natural al año (190.831 kWh/año, 15,80 tep/año).

El ahorro económico conseguido en un año, suponiendo un precio medio de 0,022087 €/kWh de gas natural, es de 4.215 €.

Con una inversión próxima a los 15.000 €, necesaria para la instalación de 3 tanques de flash con sus correspondientes bombas de condensado, el periodo de retorno se sitúa en:

$$\frac{15.000 \text{ €}}{4.215 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 43 \text{ meses}$$

Control de las fugas de vapor

Las fugas directas de vapor a través de grietas en tuberías y equipos de la red de distribución suponen una pérdida energética.

La velocidad de derrame de un fluido gaseoso a través de un orificio, desde una presión p_2 a otra p_1 viene dada por la expresión:

$$v = K' \sqrt{2g \frac{p_2 - p_1}{\gamma}}$$

Donde:

v = Velocidad del fluido (m/s).

g = 9,8 m/s².

$p_2 - p_1$ = Diferencia de presión (kg/m²).

γ = Peso específico del fluido a la presión p_2 (kg/m³).

K' = Coeficiente que depende del tipo de fluido.

El caudal de salida del fluido a través del orificio depende de la velocidad de salida y de la sección del orificio. Para el vapor se tiene la siguiente expresión cuando el orificio descarga a la atmósfera:

$$Q = 10^2 K d^2 \sqrt{P(P + 1)}$$

Siendo:

Q = Caudal de fluido que sale por el orificio (kg/h).

d = Diámetro del orificio (cm).

P = Presión manométrica del vapor (kg/cm²).

K = 0,35 – 0,45.

A título orientativo, puede afirmarse que por un orificio de diámetro 2,5 mm en una tubería a 6 kg/cm², las pérdidas de vapor suponen, aproximadamente, 18 kg/h.

Si el vapor es producido por una caldera de fuelóleo con un rendimiento del 88% y una utilización de 1.984 h/año y se tiene en cuenta que la temperatura de entrada del agua de alimentación es de 20° C, que la temperatura de saturación del vapor a 6 kg/cm² es de 157° C y que su calor de evaporización es de 500 kcal/kg, las pérdidas por fugas suponen un consumo energético adicional de:

$$[1,0032 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times (157 - 20) ^\circ\text{C} + 500 \text{ kcal/kg}] \times 18 \text{ kg/h} \times 1.984 \text{ h/año} = 22.764,20 \text{ Mcal/año}$$

que, en términos de combustible representa:

$$\frac{22.764.200 \text{ kcal/año}}{9.600 \text{ kcal/kg} \times 0,88} = 2.695 \text{ kg/año (2,6 tep/año)}.$$

Suponiendo un precio de 0,30 € por kilogramo de fuelóleo, el ahorro económico anual alcanza las 808 €.

El problema de eliminar una fuga deriva del hecho de que, durante el tiempo de reparación (al menos una hora), queda fuera de servicio una parte importante de la fábrica. Las fugas grandes han de ser reparadas en el momento, ya que pueden interferir en el proceso productivo, mientras que para la reparación de las pequeñas puede esperarse a periodos de baja producción o parada (fines de semana y días festivos principalmente).

Existen numerosos métodos para reparar fugas pequeñas sin parar el flujo de vapor, arbitrándose para ello soluciones ingeniosas basadas en piezas preconstruidas que se ajustan en el orificio por medios mecánicos a fin de evitar riesgos para las personas.

6.2.3. Intercambiadores de calor

El método indirecto de transferencia de calor es el más utilizado en la Industria Láctea frente al calentamiento directo. En este método, el producto y el medio calefactor o refrigerante están separados y no entran en contacto directo. El calor se transfiere desde el medio calefactor al producto a través de una pared, la del intercambiador de calor.

Al margen del pasteurizado y del esterilizado, los intercambiadores de calor intervienen en un gran número de procesos del sector lácteo y quesero. Por esta razón, la mejora descrita en este apartado, la instalación de un bypass, es general y puede aplicarse a varios de los equipos que cuenten con un intercambiador de calor. Las mejoras específicas de equipos que incorporan intercambiadores de calor se describen en el apartado de Mejoras de Proceso.

Instalación de un bypass

En aquellos intercambiadores de calor utilizados para elevar la temperatura del agua o del aire aplicado en proceso, puede ocurrir que la temperatura del agua o del aire ambiente (el exterior al proceso) sea superior a la temperatura inicial del fluido a calentar. En estos casos, que aparecen con frecuencia en la Industria Láctea, principalmente en secaderos y en el proceso de maduración, es viable la instalación de un bypass que permite introducir aire o agua del exterior directamente, sin que pase por el intercambiador, para el caso de que la temperatura ambiente sea superior a la de salida y que cierre su paso en caso contrario.

Para un correcto funcionamiento del bypass, son necesarias dos sondas de temperatura que comparen continuamente la temperatura exterior con la interior para abrir o cerrar el paso, si bien, en la mayoría de las ocasiones no es necesario llegar a ese grado de precisión y basta con realizar mediciones horarias.

Su funcionamiento se describe utilizando el ejemplo de un secadero en una fábrica de queso. En los secaderos, por el exterior de los tubos circula el aire de salida del secadero, mientras por el interior lo hace el aire que entra del exterior.

En el proceso de secado de 5.000 kg de queso se reduce su grado de humedad de un 80 hasta un 55%, lo que implica la evaporación de 1.250 kg de agua al día. Se plantea la instalación de un bypass que permita introducir aire exterior a la instalación de secado directamente, sin que pase por el intercambiador, para el caso de que la temperatura del ambiente exterior sea superior a la del aire de salida. En caso contrario, se realiza un precalentamiento del aire a la entrada con ayuda del aire de salida del secadero.

Para unas condiciones medias de 8° C de temperatura ambiente, una temperatura de entrada al secadero de 62° C (el calor latente de evaporación a 62°C es 2.356 kJ/kg) y una temperatura de salida de 30° C, el calor teórico de evaporación de la citada cantidad asciende a 1.250 kg/día × 2.356 kJ/kg = 2.945 MJ/día, siendo el calor aportado (suponiendo una caldera de fuelóleo con un rendimiento del 88%) de:

$$\frac{2.945 \text{ MJ/día}}{0,88} = 3.347 \text{ MJ/día, 1.138 GJ al año suponiendo 340 días de operación.}$$

En términos de consumo de combustible representa:

$$\frac{3.347.000 \text{ kJ/día}}{40.128 \text{ kJ/kg}} = 83,4 \text{ kg/día, esto es, 28.359 kg/año (27,22 tep/año).}$$

Es posible precalentar el aire exterior hasta una media de 23° C, enfriando el aire de salida del secadero, recuperando, como suma de calor sensible y calor latente, en torno a: 4,18 kJ/kg°C × (23 – 8)°C × 1.250 kg/día × 340 días/año = 26.650 MJ al año que significa un ahorro energético de:

$$\frac{26.650 \text{ MJ/año}}{0,88} = 30.284 \text{ MJ/año, un 2,7% del consumo total.}$$

En el caso de que el aire exterior esté a una temperatura superior a 23° C, éste se introduce directamente al secadero sin pasar por el intercambiador.

El ahorro de combustible anual sería de:

$$\frac{30.284.000 \text{ kJ/año}}{40.128 \text{ kJ/kg}} = 755 \text{ kg/año}$$

que traducido a términos económicos, tomando un precio del fuelóleo de 0,30 €/kg, implica un ahorro anual medio de 226 €. Lógicamente tanto el ahorro energético como el económico serán superiores en los meses estivales, al ser más alta la temperatura ambiente.

Si bien el ahorro económico no es muy elevado, la inversión necesaria es, por regla general, inferior a las 1,500 €, con lo que el periodo de retorno es del orden de 7 años, o menor.

6.2.4. Sistemas de frío

En muchas etapas del proceso se necesita elevar la temperatura del producto. Un aumento de temperatura producirá también un aumento en la actividad de los microorganismos que puedan encontrarse presentes en el producto, así como una aceleración de las reacciones químicas controladas por enzimas. Este tipo de actividad debe evitarse reduciendo la temperatura del producto tan rápidamente como sea posible, una vez se haya completado la etapa de calentamiento del producto.

Por lo tanto, los sistemas de producción de frío en la Industria Láctea representan una componente importante del consumo energético. Puesto que gran parte de los consumos energéticos en una instalación de refrigeración son eléctricos y se realizan entre las 8 y las 19 horas, su repercusión en los costes energético totales en fábrica son aún mayores.

Acumuladores

En la mayor parte de las industrias lácteas, los consumos energéticos asociados a la generación de frío son simultáneos con dicha generación. Las cámaras de refrigeración y el resto de los sistemas de frío (enfriamiento de depósitos, fabricación de helados, etc.) trabajan principalmente en horas punta y llano.

Reemplazar los equipos actuales de refrigeración por otros de mayor eficiencia permitiría obtener importantes ahorros energéticos. Si además los nuevos equipos adaptan su consumo a las horas valle, la factura eléctrica se verá aún más reducida.

Los tanques de frío asumen dicha función al facilitar el traslado de parte del consumo eléctrico desde las horas punta a las horas valle. Dicha tecnología se basa en un nuevo condensador que reduce la temperatura de evaporación mediante un acumulador de frío que permite que el consumo de energía eléctrica tenga lugar en horas nocturnas.

Los acumuladores consisten en grandes tanques de agua con numerosos serpentines de evaporación. Cuando la temperatura del agua en el tanque alcanza los 0°C empieza a formarse hielo en los serpentines. En el proceso de refrigeración el agua es llevada desde el tanque a los intercambiadores de calor, volviendo el agua calentada nuevamente al tanque para ser de nuevo enfriada en la mezcla con hielo.

Puesto que el hielo nunca se encuentra completamente disuelto en el agua, puede taponar los serpentines del tanque. Para evitar este problema, debe ayudarse a la disolución del hielo durante los fines de semana mediante procesos mecánicos.

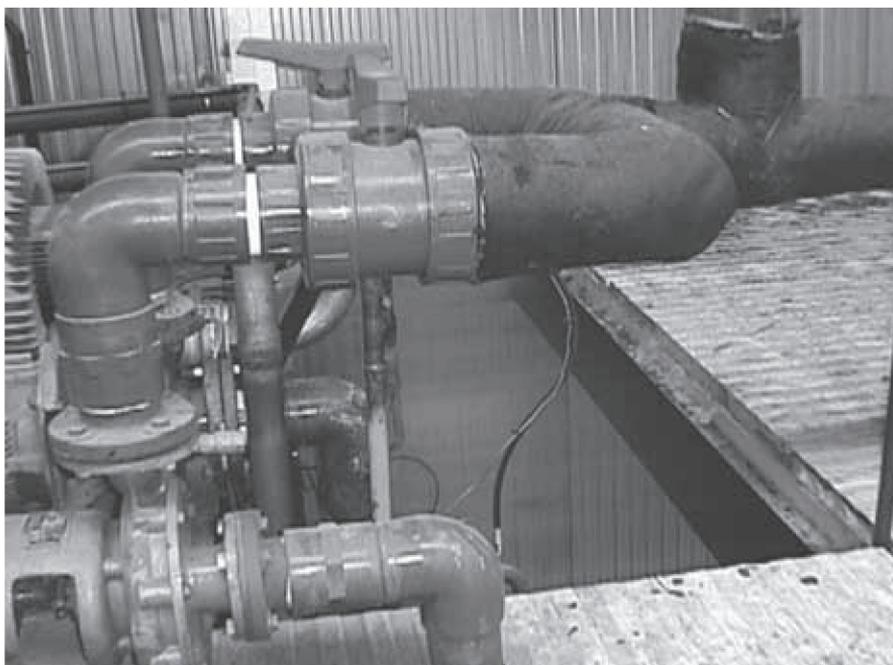


Figura 33. Tanque de hielo.

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez.

En los sistemas de acumulación, el compresor ha de estar en funcionamiento hasta el final de la hora valle o bien hasta que el espesor del hielo supere los 5 cm y arrancará al principio del horario de menor tarifa o bien cuando la temperatura del agua en el tanque supere 1°C.

La viabilidad del sistema de acumulación de frío se demuestra sobre el ejemplo de una fábrica cuyo sistema de producción de frío funcionaba con un condensador diseñado para una temperatura de condensación de 35°C y una temperatura de evaporación por debajo de -15°C. El COP de la instalación era de 2,5.

Los requisitos de enfriamiento diario rondaban los 7.600 kWh entre las 8.00 y las 19.00 horas, lo que significaba un consumo energético, suponiendo 365 días de operación, de 2.774 MWh. El coste de la factura eléctrica alcanzaba los 266.308 € con tarifa 2.1 y discriminación horaria tipo 3 (se ha estimado 0,096 € como precio medio del kWh de energía eléctrica en horas punta y valle).

La instalación anterior se sustituyó por una nueva planta formada por:

- Dos compresores de 480 kW para enfriar. Su temperatura de condensación es de 30°C y la de evaporación de -9°C, con una potencia de entrada de 125 kW.
- Un condensador de 1.150 kW.
- Dos bancos de hielo o enfriadores de agua con capacidad de almacenamiento de 3.960 kWh cada uno.

Con el nuevo sistema, el consumo asciende a:

$$[2 \times 480 \text{ kW} \times 2,75 \text{ h/día} + 1.150 \text{ kW} \times 3 \text{ h/día}] \times 365 \text{ días/año} = 2.223 \text{ MWh/año}$$

lo que se traduce en un ahorro energético de 551 MWh/año (se ha tomado 3 horas de operación del condensador y 2 horas y tres cuartos del compresor al día).

Por otro lado, gracias al tanque de hielo se transfieren

$$\frac{1}{3} (2 \times 3.960 \text{ kWh} \times 365 \text{ días/año}) = 963,6 \text{ MWh/año}$$

a horas valle (en la discriminación horaria tipo 3 las horas valle van desde las 9:00 p.m. a las 11:00 a.m. horas en invierno y de las 10:00 p.m. a las 12:00 del mediodía en verano, esto es, el tanque consume energía eléctrica durante la tercera parte del día).

El ahorro económico total viene dado por:

$$551.000 \text{ kWh} \times 0,096 \text{ €/kWh} + 963.600 \times (0,096 - 0,049) \text{ €/kWh} = 98.185 \text{ €/año (se ha tomado 0,049 €/kWh como la tarifa de hora valle en discriminación tipo 3)}.$$

Teniendo en cuenta que la inversión asciende a 380.000 €, el periodo de amortización se sitúa en los:

$$\frac{380.000 \text{ €}}{98.185 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 46,5 \text{ meses}$$

La mayor producción de frío, junto con la disminución de la temperatura de condensación, incrementa la eficiencia del sistema de refrigeración aproximadamente en un 40%.

El 43% del consumo eléctrico se transfiere a las horas de tarifa más baja y se consigue una ventaja adicional, al refrigerar el producto a aproximadamente 2 °C como resultado de la reducción de la temperatura del agua en el tanque.

Nuevo Consumo	2.223 MWh/a
Ahorro	551 MWh/a
Transferencia por el tanque de hielo	963,6 MWh/a
Ahorro económico	98.185 €/año
Inversión	380.000 €/año
Retorno simple	3,9 años

Tabla 61. Resultados de un ejemplo de redimensionado de un sistema de frío.

Fuente: Elaboración propia.

6.2.5. Aire comprimido

La gran demanda de equipos e instrumentos avanzados para el control automático, la monitorización y la regulación de los distintos procesos de producción en las industrias lácteas aconseja el uso de aire comprimido, ya que los sistemas automáticos controlados neumáticamente han demostrado ser seguros en ambientes húmedos.

Por otro lado, sus aplicaciones en el suministro de potencia a los actuadores de algunas máquinas, como las llenadoras, en el vaciado del producto contenido en las tuberías y en el agitado de los depósitos de almacenamiento hacen imprescindible su uso en el sector.

Para su generación, se usan varios tipos de compresores: compresores lubricados con aceite, compresores de tornillo con cámaras de compresión libres de aceite, compresores de pistones especiales y turbocompresores²⁰.

La existencia de un depósito de aire en la red de distribución permite reducir el consumo energético al disminuir la capacidad y la potencia necesaria en los compresores.

Por otro lado, se estima que las fugas en la red de distribución pueden suponer un 30% de la capacidad instalada²¹. Los métodos empleados en la detección de fugas van desde la simple inspección acústica hasta sistemas basados en rayos ultravioletas y la solución más racional para reducir las es disponer de una sola planta de compresión y una sola red de distribución en anillo cerrado.

Al convertirse en calor la energía empleada en el compresor, su recuperación significa un ahorro energético que debe ser tenido en cuenta al diseñar una nueva instalación. La recuperación energética puede realizarse tanto con refrigeración por agua como por aire de los compresores, mejoras que son descritas en los apartados siguientes.

²⁰ Fuente: Manual de industrias lácteas. Tetra Pak, 1996.

²¹ Fuente: Eficiencia energética en la pequeña y mediana empresa, IDAE.

Refrigeración por agua de los compresores

En las aplicaciones de refrigeración por agua, ésta va desde el cilindro de baja presión del compresor a un refrigerador intermedio y de allí al cilindro de alta presión. La circulación del agua de refrigeración se regula termostáticamente para obtener una temperatura constante de salida.

En los compresores refrigerados por agua puede recuperarse entre el 50 y el 75% de la energía de entrada en forma de agua caliente a temperatura de 50-80 °C²², que se utiliza en calefacción, en pasteurizadores y esterilizadores y como agua de alimentación a calderas.

Esta refrigeración, además de enfriar el aire, lo deshumedece, a la vez que mejora el rendimiento del compresor. Si el agua de salida, una vez enfriada, va a ser recirculada al compresor, debe instalarse un intercambiador de calor que caliente el agua para su aplicación industrial.

La viabilidad del sistema se describe con ayuda del ejemplo de una empresa que tiene siete compresores de pistón con una potencia total de 350 kW para producción de frío y un compresor de tornillo para sistemas automáticos, que genera un flujo de calor en la sala de compresores de 16 kW.

Dicha empresa se planteó la instalación de dos sistemas de refrigeración por agua: el primero para los siete compresores de pistón y el otro para el compresor de tornillo.

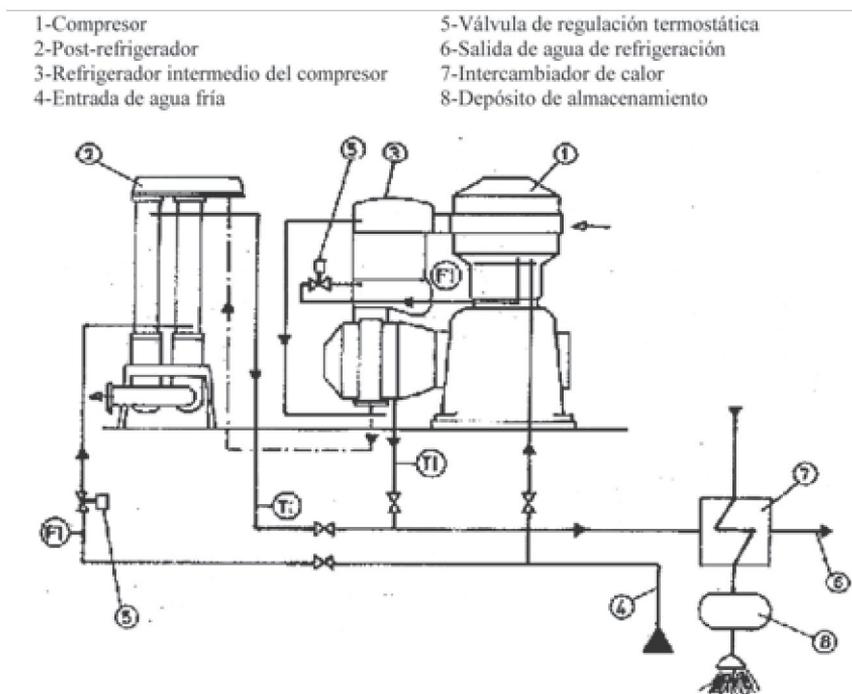


Figura 34. Compresor refrigerado por agua.

Fuente: Mejores Prácticas y Nuevas Tecnologías en Compresores y Aire Comprimido. EREN.

²² Fuente: Difusión de mejores prácticas y nuevas tecnologías en compresores y aire comprimido. EREN.

Mediante refrigeración por agua se recuperó el 60% de la potencia de los compresores de pistón (210 kW), lo cual permitió elevar la temperatura de 3.600 kg/h de agua de 10°C hasta 60°C, para su utilización en la caldera de vapor. Con ello se obtuvo un ahorro energético, suponiendo un rendimiento del 88% para la caldera de gas natural con 600 horas de utilización anuales del compresor, de:

$$\frac{210 \text{ kJ/s} \times 3.600 \text{ s/h} \times 600 \text{ h/año}}{0,88} = 515,5 \text{ GJ/año (123,3 Gcal/año)}$$

En términos de combustible, el ahorro alcanzó los:

$$\frac{123,3 \times 10^6 \text{ kcal/año}}{10.119 \text{ kcal/Nm}^3} = 12.185 \text{ Nm}^3 = 127.077 \text{ kWh}$$

de gas natural al año (10,97 tep/año).

El ahorro económico anual, asociado a los compresores de pistón, asumiendo un precio medio de 0,021953 €/kWh de gas natural fue de 2.790 €.

Para el compresor de tornillo se instaló un sistema de recuperación por agua que se pone en marcha tan pronto como la temperatura del aire exterior queda por debajo de 17°C y se evacúan 13 kW con el agua de refrigeración. Cuando la temperatura exterior es superior a 17°C se bloquea y el aire caliente se envía al exterior.

El ahorro de energía ascendió, suponiendo las mismas condiciones de operación que en el caso anterior, a:

$$\frac{13 \text{ kJ/s} \times 3.600 \text{ s/h} \times 600 \text{ h/año}}{0,88} = 31,9 \text{ GJ/año (7,6 Gcal/año)}.$$

En términos de combustible, el ahorro supuso:

$$\frac{7,6 \times 10^6 \text{ kcal/año}}{10.119 \text{ kcal/Nm}^3} = 753 \text{ Nm}^3 = 7.853 \text{ kWh}$$

de gas natural al año (0,68 tep/año), por lo que el ahorro económico anual asociado al compresor de tornillo alcanzó las 172 €.

Si se tiene en cuenta que la inversión total requerida, incluyendo la instalación, fue inferior a los 14.500 €, el periodo de retorno de la inversión es de:

$$\frac{14.500 \text{ €}}{(172 + 2.790) \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 59 \text{ meses}$$

Refrigeración por aire de los compresores

El aprovechamiento del calor del aire de refrigeración puede hacerse de forma directa o indirecta mediante un intercambiador de calor aire-aire, si bien el primer método es el más extendido en la Industria Láctea, puesto que sólo requiere un acondicionamiento en términos de humedad relativa y un filtrado previo a su utilización en calefacción.

Como ejemplo de aplicación puede citarse el de una empresa láctea que tenía tres compresores de 60 kW para producir aire comprimido a 6 kg/cm² aplicable en instrumentos de control y válvulas neumáticas. De ellos, normalmente sólo existían dos en funcionamiento, quedando el tercero como reserva para posibles averías.

Las necesidades de calor para calefacción de la nave y las oficinas se cifraban en 80 kW y se detectó la posibilidad de satisfacerlas mediante un sistema de refrigeración por aire de los compresores controlado mediante un ordenador y cuatro termostatos que, actuando sobre unas válvulas o compuertas, permitían la salida del aire caliente a los recintos a calefactar. A través de este sistema se consiguió reutilizar un 70% de la potencia de los compresores en la generación de aire caliente, satisfaciendo las necesidades iniciales.

Teniendo en cuenta que el consumo anual de combustible para calefacción era de 28.000 kilogramos de **fuelóleo** al año, el ahorro energético alcanzó los:

$$28.000 \text{ kg/año} \times 9.600 \text{ kcal/kg} = 268.800 \text{ Mcal/año}$$

Suponiendo un precio de 0,30 € por kilogramo, la mejora significó un ahorro económico anual de 8.400 €.

La inversión ascendió a 8.000 €, con lo que el periodo de retorno resultó ser de:

$$\frac{8.000 \text{ €}}{8.400 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 11,5 \text{ meses}$$

Pero aún es posible introducir una segunda mejora en el sistema descrito: puesto que durante el periodo de verano el aire es expulsado al exterior, éste podría ser aprovechado en un intercambiador de calor aire-aire para precalentar el aire de combustión de la caldera, como se expuso con anterioridad en las mejoras relativas a la generación de vapor.

6.2.6. Aislamientos

La importancia de los aislamientos en la eficiencia energética dentro de la Industria Láctea puede entenderse principalmente a dos niveles: aislamiento de las tuberías de conducción de vapor y aislamiento de las cámaras de refrigeración.

Las mejoras propuestas se dirigen en ambos sentidos.

Aislamiento de tuberías

En toda red de tuberías de vapor existen unas pérdidas fijas debidas al calor que se pierde a través de sus paredes. Para conseguir que estas pérdidas sean lo más pequeñas posibles, ya que no son del todo evitables, se recurre al aislamiento.

Su influencia en una red de vapor es muy importante, puesto que puede considerarse que una tubería desnuda expuesta al aire que condense del orden de 4 a 5 kg de vapor por m² y por hora, si se le dota de un buen aislamiento, reducirá las pérdidas a 0,5-1 kg/m²h²³.

²³ Fuente: Redes de distribución de fluidos térmicos. Centro de Estudios de la Energía.

El aislamiento de tuberías es una de las medidas de ahorro energético de más fácil realización y con menor periodo de retorno de la inversión. Debe ir precedido de un análisis de calorifugado de toda la red de distribución de vapor y de agua helada para detectar las deficiencias.

La viabilidad económica de la mejora se muestra sobre el ejemplo de una tubería no aislada de hierro de diámetro exterior 8,5 cm y de 10 m de longitud por la que circula vapor sobrecalentado a 240°C, siendo la temperatura ambiente de 20 °C.

Las pérdidas de calor pueden calcularse con ayuda del ábaco de Wrede de la figura 35. En este caso particular alcanzan para 240-20=220 °C los 1.075 kcal/m.h., lo que supone una pérdida total de 10 m × 1.075 kcal/m.h= 10.750 kcal/h.

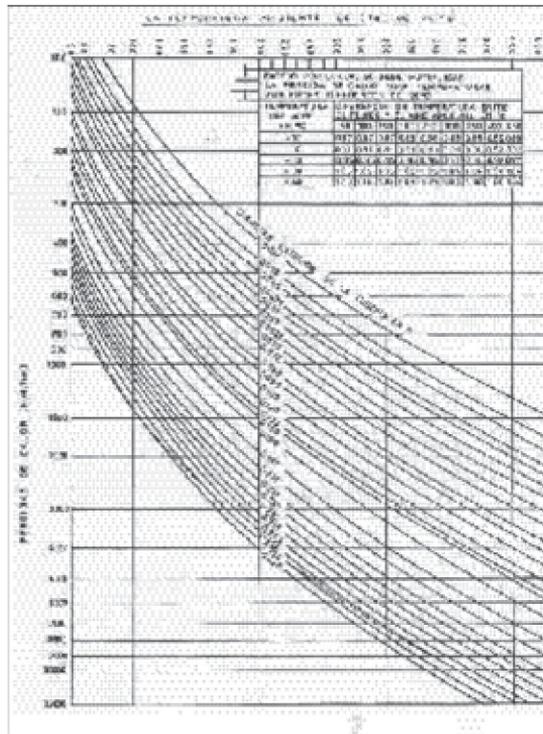


Figura 35. Ábaco de Wrede.

Fuente: Difusión de Mejores Prácticas y Nuevas Tecnologías en Distribución de Fluidos Térmicos (EREN).

El calor necesario para calentar el fluido procede de una caldera de fuelóleo con rendimiento del 88% y puede calcularse como:

$$\frac{10.750 \text{ kcal/h}}{0,88} = 12.216 \text{ kcal/h}$$

y suponiendo 1.984 horas de operación de la caldera al año la pérdida energética alcanza las 24.236,4 Mcal/año. Estas pérdidas se traducen en un consumo adicional de combustible de:

$$\frac{24.236.364 \text{ kcal/año}}{9.600 \text{ kcal/kg}} = 2.525 \text{ kg/año (2,4 tep/año)}$$

Para disminuir las pérdidas en la tubería se decide aislarla con 50 mm de coquilla de lana mineral de densidad 75 kg/m³ y de conductividad lineal 0,046 kcal/m.h.°C.

Aplicando el ábaco de pérdidas de calor en tuberías calorifugadas de la figura 36 se obtiene, para una diferencia de temperaturas del fluido y del ambiente de 220 °C una constante de calorifugado de 0,4^o kcal/mh°C y una diferencia de temperatura efectiva de 210 °C.

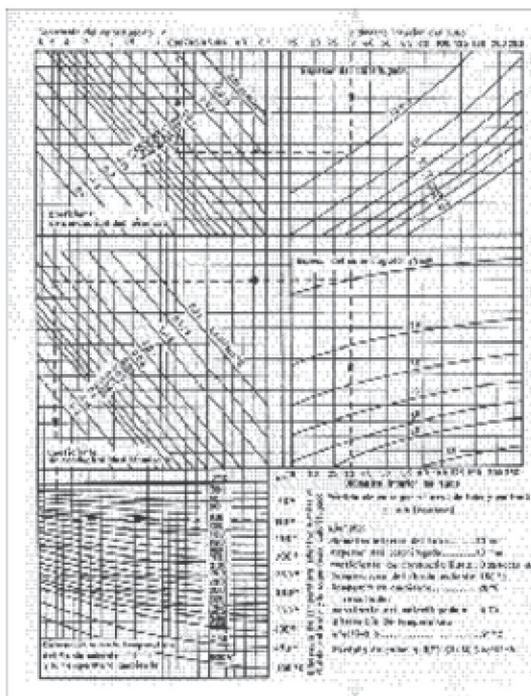


Figura 36. Ábaco de pérdidas de calor en tuberías calorifugadas.

Fuente: Difusión de Mejores Prácticas y Nuevas Tecnologías en Distribución de Fluidos Térmicos (EREN).

Por lo tanto, el calor perdido será $Q = 0,4 \times 210 = 84 \text{ kcal/mh}$ y en los 10 metros será de 840 kcal/h. El consumo energético en la caldera se reduce hasta:

$$\frac{840 \text{ kcal/h}}{0,88} = 955 \text{ kcal/h (1.893,8 Mcal/año)}$$

esto es, las pérdidas se han reducido en un 93%.

La pérdida de combustible se sitúa en:

$$\frac{1.893.800 \text{ kcal/año}}{9.600 \text{ kcal/kg}} = 197,3 \text{ kg/año (0,19 tep/año)}$$

El ahorro económico obtenido, suponiendo un precio de 0,30 € por kilogramo de fuelóleo es de 698 €/año.

Con un coste del aislamiento de 30 €/m, la inversión alcanza las 30 €/m × 10 m = 300 €. El periodo de retorno de la inversión es de:

$$\frac{300 \text{ €}}{698 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 5 \text{ meses}$$

Aislamiento en cámaras

La transmisión de calor a través de las paredes de una cámara frigorífica viene dada por la expresión:

$$Q = AUdt$$

Siendo A la superficie de pared en m², U el coeficiente global de transmisión de calor en kcal/hm²°C y dt la diferencia de temperaturas entre las superficies interior y exterior de la pared en grados centígrados.

Para disminuir Q, al ser A y dt constantes en la mayoría de los casos, debe disminuirse el coeficiente de transmisión tanto como sea posible mediante un aislamiento adecuado. De esta forma, tanto la potencia frigorífica instalada, como la energía consumida serían menores.

Una manera práctica y válida de determinar el estado de conservación y la eficacia del aislamiento de cámaras es el análisis de las diferencias de temperaturas:

- Diferencia entre las temperaturas de la superficie interior de la pared de la cámara y la temperatura ambiente de la cámara.
- Diferencia entre las temperaturas de la superficie exterior de la pared de la cámara y la temperatura ambiente exterior –siempre que no sea una superficie afectada por algún equipo térmico.

Pequeñas diferencias de temperatura indicarán un estado correcto de los aislantes. En la práctica, pueden establecerse valores orientativos máximos en la Industria Láctea de entre un 14 y un 17%, expresados en porcentaje respecto de la diferencia de temperaturas entre el ambiente interior de la cámara y la pared de la misma²⁴.

Otra forma de determinar la eficacia de los aislamientos es utilizar el análisis termográfico.

Tradicionalmente, la reparación de un aislante es realizada mediante su sustitución por uno nuevo. Este procedimiento comporta dos importantes inconvenientes: el alto coste de mano de obra y el tiempo durante el cual la cámara está inutilizada. Una solución alternativa consiste en colocar el nuevo aislante, poliuretano proyectado, sobre el ya existente.

En primer lugar se realizan unos agujeros en la pared en los que se sitúan perfiles de PVC. Sobre éstos se apoyan perfiles metálicos omega que sustentan los paneles de protección interior. Los agujeros se sellarán con poliuretano proyectado para evitar posibles fugas térmicas.

²⁴ Fuente: Les instal·lacions frigorífiques de la indústria agroalimentària. INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA, 1993.

El coste orientativo de una instalación como la propuesta es el siguiente:

- Poliuretano proyectado (30-40 kg/m³) 2.70 €/m².cm.
- Barrera antivapor 3.10 €/m².
- Panel de protección:
 - Chapa lacada 30.50 €/m².
 - Poliéster 32 €/m².

Con 5 cm de poliuretano y panel de protección de poliéster, el coste resulta ser de 48,60 €/m².

El siguiente ejemplo es un estudio de viabilidad económica de la sustitución de un aislamiento en una cámara a 0 °C con una temperatura media anual exterior de 15 °C, un coeficiente de convección del aire interior de 10 kcal/m²h°C y un coeficiente de conducción del poliuretano de 0,02 kcal/m²h°C.

La producción frigorífica por cada kWh de energía eléctrica consumida es de 1.300 kcal y la diferencia de temperaturas entre la pared interior y el ambiente interior de la cámara es de un 15% en porcentaje respecto de la diferencia total (temperatura ambiente exterior e interior).

Aislamiento actual

Pérdidas de calor a través de las paredes en kcal/m²año:

$$Q = 10 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C} \times (15-0)^\circ \text{C} \times 15\% \times 24 \text{ h/día} \times 365 \text{ días/año} = 197.100 \text{ kcal/m}^2\text{año}.$$

Energía eléctrica consumida:

$$197.100 \text{ kcal/m}^2\text{año} \times 1 \text{ kWh/1.300 kcal} = 151 \text{ kWh/m}^2\text{año}.$$

Expresada en euros (tomando 0,071749 €/kWh como precio medio):

$$151 \times 0,071749 \text{ €/kWh} = 10.83 \text{ €/m}^2\text{año}.$$

Coefficiente global de transferencia de calor:

$$197.100 = U \times (15-0) \times 24 \times 365.$$

$$U = 1,5 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}.$$

Nuevo aislamiento

Con 5 cm de poliuretano:

$$Q = \frac{1}{1 + 0,02} \times (15 - 0) \times 24 \times 365 = 32.850 \text{ kcal/m}^2 \text{ año}$$

Energía eléctrica consumida:

$$32.850 \text{ kcal/m}^2\text{año} \times 1 \text{ kWh/1.300 kcal} = 25 \text{ kWh/m}^2\text{año}.$$

Expresada en euros:

$$25 \text{ kWh/m}^2\text{año} \times 0,071749 \text{ €/kWh} = 1,79 \text{ €/m}^2\text{año.}$$

Ahorro económico

$$10,83 - 1,79 = 9,04 \text{ €/m}^2\text{año.}$$

Periodo de amortización:

$$\frac{\text{Coste por m}^2}{\text{Ahorro por m}^2 / \text{año}} \times 12 \text{ meses/año} = \frac{48,6}{9,04} \times 12 = 64 \text{ meses}$$

6.2.7. Bombas y ventiladores

En el sector lácteo quesero es frecuente encontrar procesos de movimiento de líquidos y gases trabajando en condiciones variables de carga. El movimiento de fluidos demanda una potencia a los motores aproximadamente cúbica con el caudal, con lo que teóricamente, reduciendo el caudal un 20%, se puede obtener una disminución del consumo energético superior al 40%.

En el caso en el que la regulación del caudal se realice mediante marcha-paro o mediante válvulas o compuertas, la incorporación de sistemas de regulación electrónica de velocidad en motores permite optimizar la eficiencia energética, con periodos de retorno inferiores incluso a dos años, siempre y cuando el tiempo de utilización anual sea superior a las 2.000 horas.

Regulación electrónica de velocidad

Un regulador electrónico de velocidad está formado por circuitos que incorporan transistores de potencia o tiristores, siendo el principio básico de funcionamiento transformar la energía eléctrica de frecuencia industrial en energía eléctrica de frecuencia variable.

Esta variación de frecuencia se consigue en dos etapas. Una etapa rectificadora, que transforma corriente alterna en continua, y otra inversora, que transforma corriente continua en alterna, con una frecuencia y un valor de tensión que dependerán de las señales de consigna.

La mayoría de los reguladores existentes en el mercado admiten modos de funcionamiento manuales o programados e incluyen protecciones para el motor contra sobreintensidad, sobretensión, vuelco, fallo contra desequilibrios, defectos a tierra, etc., además de ofrecer la posibilidad de realizar procesos de arranque y frenado suaves mediante rampas de aceleración y de frenado, lo que redundará en un aumento de la vida del motor y las instalaciones.

En la Industria Láctea, los reguladores de velocidad pueden aplicarse, principalmente, en ventiladores de refrigeración, en ventiladores de los evaporadores para la producción de leche en polvo y en bombas. Su eficiencia se estudia sobre el ejemplo de una fábrica que cuenta con una bomba centrífuga de 15 kW de potencia para la extracción de agua de pozos al sistema de calderas, funcionando 3.000 horas al año. El sistema de regulación de caudal a sustituir es el de una válvula automática.

El régimen de carga de la bomba se encontraba entre el 60 y el 80%, trabajando un 17% del tiempo en hora punta, un 50% en hora llano y un 33% en hora valle. La demanda de potencia era aproxima-

damente constante, puesto que aunque el caudal se reducía, la válvula introducía pérdidas en forma de sobrepresiones.

Tras instalar un regulador de velocidad se obtuvo un ahorro energético anual de 14.732 kWh, debido a que la regulación de caudal quedó determinada por variaciones de velocidad de la bomba y no por “intrusión” de pérdidas mecánicas. Con tarifa de media utilización (2.1), modo 2 y discriminación horaria tipo 3 y suponiendo unos precios medios para el término de energía de 0,040897 €/kWh en hora valle, 0,071749 € en llano y 0,121973 € en hora punta, el ahorro económico resultó ser de 1.033 €/año.

La inversión en equipos, incluida su instalación, ascendió a 3.000 euros, con lo que el periodo de retorno fue de:

$$\frac{3.000 \text{ €}}{1.033 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 35 \text{ meses}$$

6.3. MEJORAS DE PROCESO

Las mejoras que se describen en este apartado son específicas del proceso productivo de la Industria Láctea y su exposición se acomete desde el punto de vista de las posibilidades de ahorro y aumento de la eficiencia energética que suponen las nuevas tecnologías.

Los consumos energéticos en procesos específicos se asocian principalmente con energía transformada (habitualmente en forma de vapor) en lugar de energía primaria como era el caso de los procesos horizontales (generación de vapor, frío y aire comprimido).

Alguna de las tecnologías referidas en este apartado no son realmente novedosas, ya que llevan varios años introducidas en las grandes empresas españolas y europeas. Sin embargo, al ser la mayor parte de las empresas del sector lácteo quesero en Castilla y León pequeñas y medianas empresas, estas técnicas sí deben ser consideradas como novedosas para este colectivo.

Las mejoras que se describen se han seleccionado desde la óptica de los procesos más representativos desde el punto de vista del consumo energético, que son, lógicamente, en los que se pueden conseguir mejoras importantes de la eficiencia, tales como el secado para la obtención de leche en polvo, los procesos de limpieza CIP (Cleaning In Place), el pasteurizado, el esterilizado, el tratamiento del suero y la obtención de leche concentrada.

6.3.1. Secadero multietapas

El secado de la leche para la obtención de leche en polvo se lleva a cabo en torres de atomización. La leche se evapora para posteriormente ser atomizada y mezclada con una corriente de aire caliente. Debido a la gran superficie presentada por las gotitas de producto, se produce una rápida evaporación de la humedad pudiéndose concentrar la leche hasta una relación de 2:1 ó 3:1.

La mayor parte de las pérdidas en evaporadores son debidas a la eliminación de grandes cantidades de aire húmedo procedentes del secado de la leche a una temperatura aproximada de 90°C, que en algunos casos es vertido directamente a la atmósfera.

Para reducir el consumo energético de la operación de secado existen varias alternativas:

- Prolongar al máximo la concentración en los evaporadores. Ha de tenerse en cuenta que el producto de la concentración debe tener una fluidez suficientemente alta cuando entra en las torres de atomización, ya que, la energía consumida por kg de agua evaporada en torres de atomización es del orden de 10 a 20 veces mayor que en el caso de los concentradores²⁵.
- Elevar la temperatura del aire de secado, a la vez que disminuir la del aire húmedo. Esto se puede conseguir mediante la recirculación del aire de salida, o utilizándolo para el precalentamiento del aire de entrada. En algunos casos, otra alternativa sería la utilización del calor residual de los condensados procedentes de la operación de concentración para calentar el aire de entrada a la torre de atomización. De esta forma, el aire de entrada puede incrementar su temperatura hasta 30°C, resultando un ahorro de energía orientativo del 15%.
- Reducir el consumo energético necesario para que se produzca la disminución de los últimos contenidos de humedad de la leche. Esto se puede alcanzar mediante la utilización del secado en dos e incluso en más etapas.

La tasa de evaporación es particularmente alta en la primera parte del proceso, y va progresivamente decreciendo a medida que disminuye el contenido de humedad de los copos de leche en polvo. Si se deseara completar el proceso de secado en una sola etapa, sería necesaria una temperatura de salida de los gases del evaporador muy elevada durante la última fase del secado.

Durante los últimos diez años el secado en **dos etapas** ha probado su superioridad respecto al secado en una etapa en términos de calidad de producto y de costes de operación. En el secado en dos etapas, el producto se hace pasar primero por una torre de atomización y posteriormente por un secadero de lecho fluido situado externamente a la torre de atomización, que constituye la segunda etapa. En la torre de atomización se consigue un producto con un contenido de humedad de un 6%, mientras que la eliminación final de la humedad del producto hasta un porcentaje aproximado del 3% se logra mediante el secadero de lecho fluido vibratorio, que utiliza menores cantidades de aire a más baja temperatura que en el caso del secador atomizador, lo que se traduce en un ahorro de combustible.

El secadero en **tres etapas** se basa en el de dos. En este caso existe un lecho fluido estático en el cono de la torre de atomización, con lo cual, se puede lograr una reducción mayor de la humedad del producto en una primera fase, así como una temperatura menor del aire de salida de la torre. La tercera fase del proceso se llevará a cabo en el secadero de lecho fluido vibratorio externo a la torre.

Esta última técnica en comparación con el secado en una o dos etapas, puede proporcionar un ahorro energético de entre un 10 y un 30%, ya que requiere una menor cantidad de aire caliente en el proceso. Además, el coste del secado en tres etapas es menor que el secado en una o dos etapas para la misma capacidad productiva.

Otra de las posibilidades de ahorro, es la recuperación del calor residual del aire húmedo de salida del atomizador, que podría producir un ahorro energético de entre un 20 y un 25%²⁶ en secaderos de una etapa. Esta técnica no es viable, sin embargo, en secaderos de más de una etapa, debido a que la baja temperatura del aire de salida del atomizador no hace energéticamente rentable la instalación de un intercambiador de calor.

25 Fuente: Review of Energy Efficient Technologies in the Dairy Industry Sector. DG XVII, 1992.

26 Fuente: Review of Energy Efficient Technologies in the Dairy Industry Sector. DG XVII, 1992.

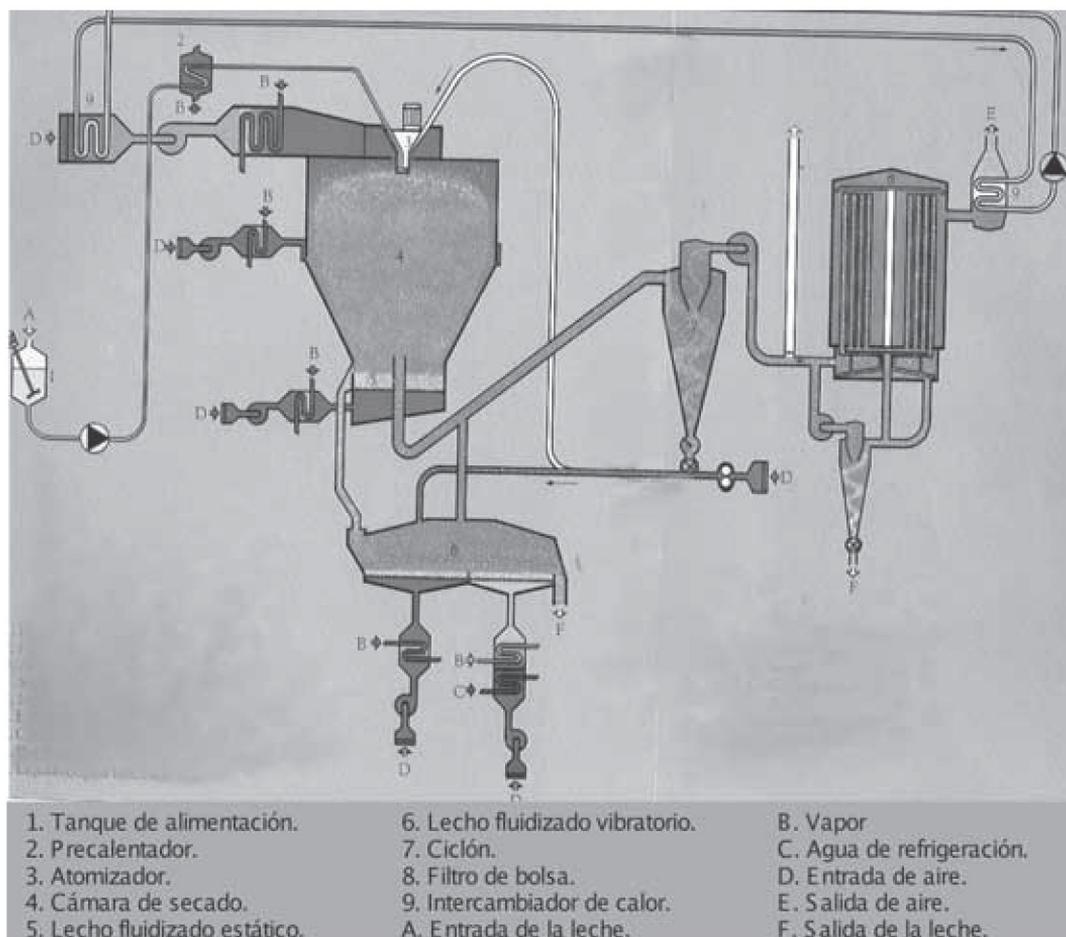


Figura 37. Esquema de secado en 3 etapas.

Fuente: Catálogo Three-stage Drying. APV.

El consumo energético de un secadero en una etapa ronda los 4,9 MJ por kilogramo de producto, el de dos etapas 4,3 MJ/kg, mientras que el secadero en tres etapas consume aproximadamente 3,4 MJ/kg. Dichos consumos son directamente proporcionales a la temperatura del aire de salida del secadero.

A título de ejemplo, se expone el caso de una empresa que produce principalmente leche en polvo. Esta empresa utilizaba para la concentración un evaporador de 4 efectos con termocompresión y contaba con tres torres de secado, dos de ellas en una sola etapa. El rendimiento total del proceso de secado alcanzaba el 82% y el consumo energético era de 4,9 MJ/kg de agua. Teniendo en cuenta que el grado de humedad del producto se reducía en un 92%, que la producción anual de leche en polvo era de 372 t y que las pérdidas de producto se situaban en el 10%, el flujo de agua utilizado fue de 5.170 t/año, lo que supuso un consumo energético anual de:

$$5.170.000 \text{ kg/año} \times 4,9 \text{ MJ/Kg} = 25.333 \text{ GJ/año} (6.052 \text{ Gcal/año}).$$

La generación del agua caliente para el secado se realizaba con una caldera de fuelóleo de un 85% de rendimiento, con lo que el consumo de combustible suponía:

$$\frac{6.052.000.000 \text{ kcal}}{9.600 \text{ kcal/kg} \times 0,85} = 741.667 \text{ kg/año de fuelóleo (712 tep/año)}.$$

Tras instalar una cámara de lecho de fluido vibrante y otra de lecho de fluido estático, se mejoró el rendimiento hasta el 88% y se redujeron las pérdidas de producto en un 2%, convirtiendo el evaporador en multietapa. Aparte de mejorar la calidad del producto, se redujo el consumo de energía a 3,4 MJ/kg de agua y la cantidad anual de agua necesaria a 5.050 t. El consumo energético anual posterior a la mejora fue de:

$$5.050.000 \text{ kg/año} \times 3,4 \text{ MJ/kg} = 17.170 \text{ GJ/año (4.101 Gcal/año)}$$

que supone un ahorro energético anual de 8.163 GJ, un 32% del consumo original.

En términos de combustible el consumo se sitúa en:

$$\frac{4.101.000.000 \text{ kcal}}{9.600 \text{ kcal/kg} \times 0,85} = 502.668 \text{ kg/año de fuelóleo (483 tep/año)}$$

con lo que el ahorro económico, suponiendo un precio de 0,30 € por kilogramo de fuelóleo es de:

$$(742.770 - 502.668) \text{ kg/año} \times 0,30 \text{ €/kg} = 72.031 \text{ €/año}.$$

Puesto que la inversión en el nuevo proceso, incluyendo la instalación de los equipos y las paradas de producción originadas, estuvo próxima a los 150.000 €, el periodo de retorno alcanzó los:

$$\frac{150.000 \text{ €}}{(72.031) \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 25 \text{ meses}$$

6.3.2. Conversión de ósmosis inversa a TVR

La ósmosis inversa actualmente se utiliza en la Industria Láctea para la obtención de concentrado de lactosuero y leche. Esta técnica consiste en separar los diferentes componentes que integran la leche (agua, sales, proteínas...) por medio de membranas con un tamaño de poro de entre 5 y 20 nm a una presión de trabajo de 50 a 200 kg/cm², con lo que se consigue la separación del agua.

Una técnica usada con éxito en algunas empresas del sector es la recompresión térmica del vapor (TVR). Para la compresión térmica de vapor se utilizan presiones de trabajo de 6 a 10 kg/cm², incrementando la presión del vapor generado en un “ejector”. Una vez conseguido el incremento de la presión del vapor se puede utilizar como fluido térmico en el proceso de evaporación. La combinación de las diferentes etapas y la compresión térmica del vapor, consiguen reducir el consumo de energía comparando con el que se necesitaría para la evaporación de agua sin ningún tipo de recuperación energética.

El funcionamiento del sistema se esquematiza a continuación:

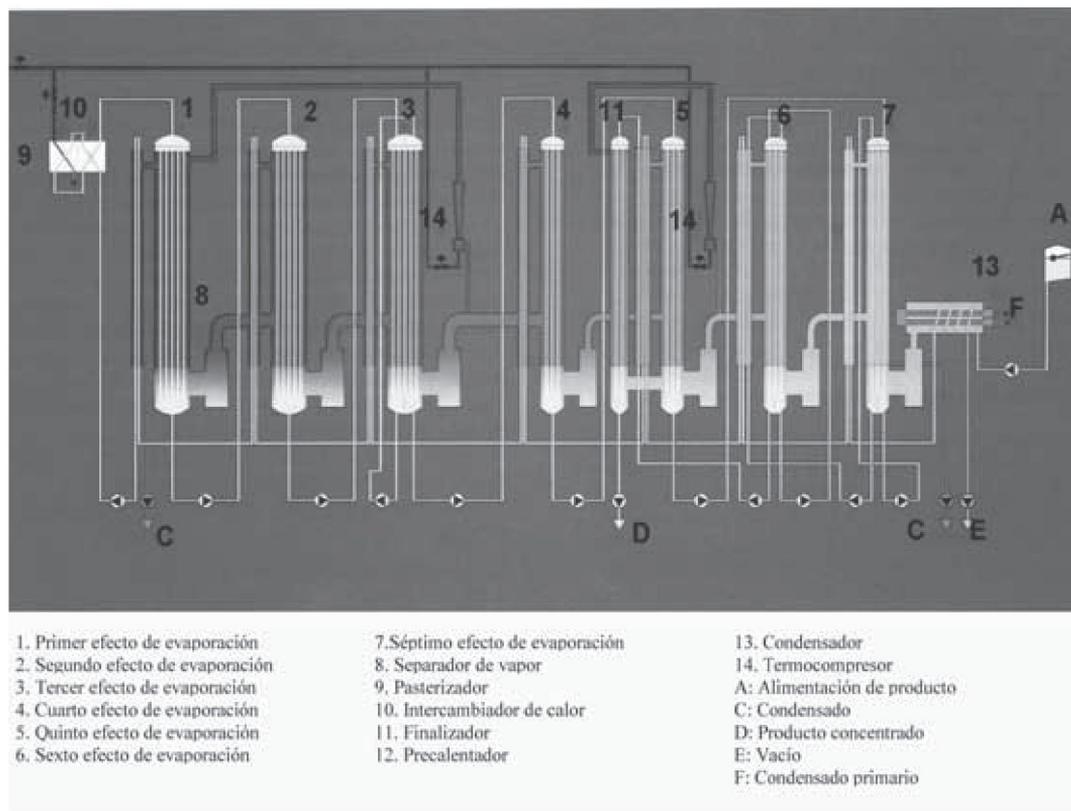


Figura 38. Esquema de funcionamiento de un evaporador con termocompresión.

Fuente: Review of Energy Efficient Technologies in the Dairy Industry Sector.

La comparación entre ambos sistemas se realiza sobre un caso real de una empresa con un volumen de tratamiento de 15.000 l/h de leche con un contenido de materia seca a la entrada del 4,5% y un 14% a la salida de una planta de ósmosis inversa y una concentración final en torno al 46%.

El coste de operación en la planta de ósmosis inversa es el siguiente:

	CONSUMO ENERGÉTICO (tep)	COSTES (€/día)*
Energía Eléctrica	0,442	372
Combustible (fuelóleo)	0,414	94
Mantenimiento	-	119
Limpieza de membranas y otros	0,351	127
TOTAL	1,207	712

Tabla 62. Costes y consumo energético de ósmosis inversa.

Fuente: Datos de la muestra.

Si se aplica la técnica de la recompresión térmica del vapor con cuatro etapas, una de ellas como termocompresión, se puede conseguir una concentración en el evaporador del 32% y una concentración al final en torno al 60%.

El coste de operación en la planta de recompresión térmica del vapor es el siguiente:

	CONSUMO ENERGÉTICO (tep)	COSTES (€/día)*
Energía Eléctrica	0,056	47
Combustible (fuelóleo)	1,221	278
Mantenimiento	-	119
Limpieza de membranas y otros	0,029	10
TOTAL	1,306	454

Tabla 63. Costes y consumo energético de TVR.

* Se ha supuesto un precio de 0,071749 €/kWh y de 0,30 €/kg de fuelóleo.

Fuente: Datos de la muestra.

Como se puede observar, la aplicación de la recompresión térmica de vapor, si bien eleva el consumo energético total en tep, mejora los resultados de proceso y a la vez reduce los costes energéticos como consecuencia de la disminución en el consumo de energía eléctrica, de mayor coste que la térmica.

El coste aproximado de una planta de recompresión térmica de vapor para este nivel de tratamiento de de leche (15.000 l/h) puede ser del orden de 550.000 euros, de forma que con un ahorro económico de $712 - 474 = 238$ €/día implica un periodo de retorno simple de la inversión de aproximadamente 7 años (para 315 días de operación):

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{550.000 \text{ €}}{238 \text{ €/día} \times 315 \text{ días/año}} = 7,3 \text{ años}$$

6.3.3. Ultraósmosis para concentración de suero

La ultraósmosis o nanofiltración es un proceso de membrana que se utiliza para la conversión del suero ácido en dulce, para la desmineralización del lactosuero y para la concentración de leche y lactosuero. La leche pasa a través de una membrana de entre 5 nm y 0,2 μm a una presión de 10 a 50 (bar) y son retenidos todos los compuestos excepto el agua, las vitaminas y las sales minerales.

La ultraósmosis es una técnica energéticamente más eficiente para la concentración de suero que los evaporadores tradicionales y económicamente más rentable por lo que constituye una excelente alternativa de sustitución de dichos equipos. En ocasiones, la planta de ultra-ósmosis es viable incluso como sustitución de una planta existente que funcione correctamente.

Como ejemplo de la viabilidad técnica y económica de la sustitución de los equipos tradicionales, se muestra la situación de una empresa que maneja 25.000 litros de suero por hora y funciona 20 horas al día, que instaló un sistema de ultra-ósmosis para la concentración de caseína, remplazando a un evaporador TVR de 4 efectos.

El evaporador TVR de 4 efectos presentaba los consumos energéticos y los costes de operación que se muestran en la tabla 64.

	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	COSTES (€)*
Vapor	20.300.000	371.077
Electricidad	200.000	14.350
TOTAL	20.500.000	385.427

Tabla 64. Consumo y costes anuales de una planta TVR de 4 etapas.

* Se ha supuesto un precio de 0,071749 €/kWh y de 0,30 €/kg de fuelóleo.

Fuente: Datos de la muestra.

Para la nueva planta de ultraósmosis la alimentación está compuesta por suero con un 6% de materia sólida y el retenido por un 27% de materia sólida. La membrana tiene un área de 1.500 m². La presión de la corriente de alimentación es de unos 40 (kg/cm²) y el producto se hace circular mediante una bomba, que lo hace pasar por el circuito 5 veces, como se muestra en la figura 39. Después de preconcentrar, se pasa el retenido a una planta de concentrado y secado. El permeado, que es básicamente agua salada, se elimina. La planta está equipada con un sistema de limpieza CIP automático que funciona 4 horas al día, utiliza 5.000 litros de agua por hora y consume 316 MJ.

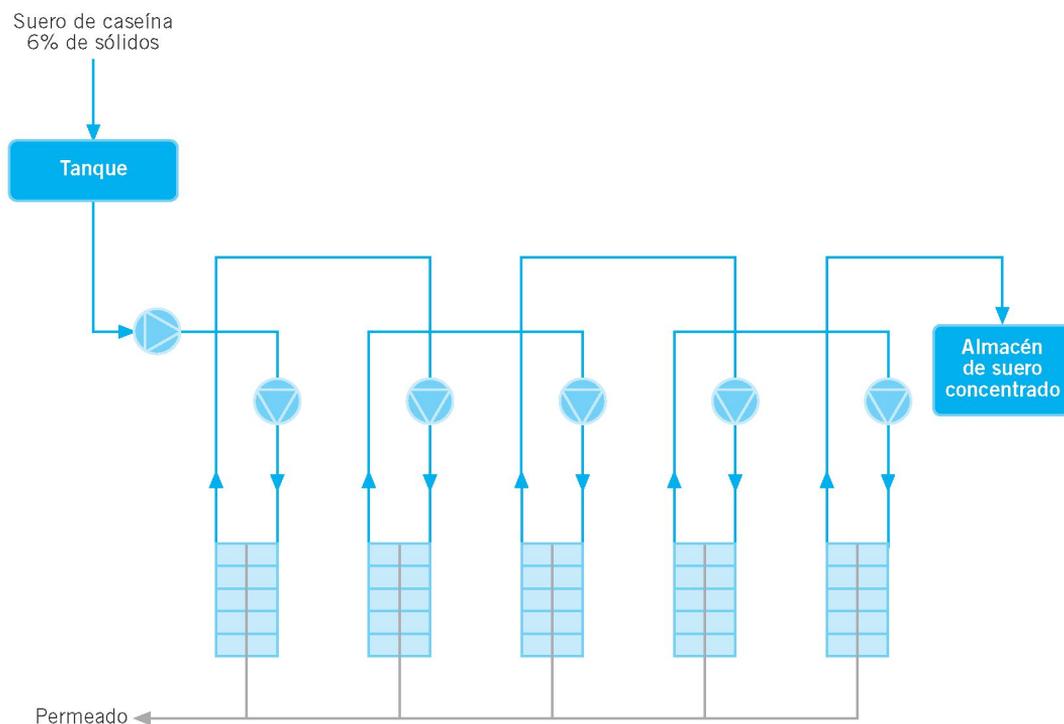


Figura 39. Esquema de funcionamiento de una planta de ultraósmosis.

Fuente: Elaboración propia.

La tabla siguiente resume los costes de operación y los consumos energéticos de la planta de ultraósmosis.

	CONSUMO ENERGÉTICO (kWh)	COSTES (€)*
Vapor	0	0
Electricidad	520.000	37.310
TOTAL	520.000	37.310

Tabla 65. Consumo y costes anuales de una planta de ultra-ósmosis.

* Se ha supuesto un precio de 0,071749 €/kWh y de 0,30 €/kg de fuelóleo.

Fuente: Datos de la muestra.

A la vista de los resultados, el ahorro energético anual alcanza los 19.980 MWh, un 97,5% del consumo inicial. El ahorro económico aún siendo importante, no es tan significativo, puesto que ha de tenerse en cuenta el coste del cambio de membranas, que puede alcanzar los 110.000 €/año.

Por tanto, para el tratamiento de 25.000 l/h de suero, además de conseguirse una mejor eficiencia energética, se obtuvieron unos ahorros económicos anuales de 277.040 €. Teniendo en cuenta que la inversión realizada fue de 1.105.000 €, el periodo de retorno simple de la inversión resultó ser de unos 4 años:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{1.105.000 \text{ €}}{277.040 \text{ €/año}} = 4 \text{ años}$$

No se han contabilizado los costes de mantenimiento, limpieza y cambio de membranas; pero si se contabilizaran, aún así resultaría rentable la planta de ultraósmosis frente a la de evaporación con termocompresión existente.

6.3.4. Aumento de la regeneración en pasterizadores y esterilizadores

Esta medida consiste en la colocación de placas suplementarias en la zona regenerativa del cambiador para aumentar el intercambio de calor y recuperar una mayor cantidad de energía de los flujos salientes del pasterizador o del esterilizador.

A continuación se recogen los resultados de aplicar esta mejora al caso práctico “Auditoría en el Pasterizador” desarrollado en el apartado de Auditorías, en el que se muestra la situación previa a la mejora.

Se añaden placas hasta conseguir una regeneración del 89%, tal y como aparece en la tabla 66.

Concepto	Valor	Unidad
Caudal de leche	0,005	m ³ /s
Densidad de la leche	1.050	kg/m ³
Calor específico de la leche	3,887	kJ/kg°C
Caudal de vapor consumido	0,083	kg/s
Presión del vapor	600	kPa
Entalpía del vapor	2574,6	kJ/kg
Entalpía de los condensados	692,21	kJ/kg
Temperatura de entrada de la leche cruda	5	°C
Temperatura de salida leche zona regeneración	71,8	°C
Temperatura de salida leche zona pasteurización	80	°C
Temp. salida leche pasteurizada zona regenerac.	12	°C
Temperatura base de entalpías	5	°C
Pérdidas por radiación y convección	13	%
Porcentaje de regeneración	89	%

Tabla 66. Análisis energético de un pasteurizador.

Fuente: Elaboración propia.

Los calores entrantes y salientes del pasteurizador, obtenidos a partir de la tabla 66 tal y como se muestra en el apartado de Auditorías, se resumen en las tablas siguientes.

	Concepto	MW
E1	Vapor	227,73
E2	Leche	0
	Total calores entrantes	227,73

Tabla 67. Calores entrantes.

Fuente: Elaboración propia

	Concepto	MW
S1	Condensados	55,92
S2	Leche pasteurizada	142,86
S3	Radiación y convección	28,95
	Total calores salientes	227,73

Tabla 68. Calores salientes.

Fuente: Elaboración propia

Los calores entrantes en la situación previa a la mejora eran de 447,19 kW (véase la tabla 57), por lo que el ahorro energético alcanzado es de 219,46 kW, lo que supone una disminución en el consumo de vapor de 289 kg/h.

Teniendo en cuenta que el pasterizador funciona 1.346 h/año y que la producción de vapor es de 13,77 kg/kg fuelóleo, el ahorro energético, en términos de combustible, alcanza los:

$$\frac{289 \text{ kg/h} \times 1.346 \text{ h/año}}{13,77 \text{ kg/kg fuelóleo}} = 28.249,38 \text{ kg fuelóleo/año (27,12 tep/año)}.$$

El ahorro económico anual, suponiendo un precio de 0,30 euros para el kilogramo de fuelóleo, resulta ser de 28.249,38 kg fuelóleo/año \times 0,30 €/kg = 8.475 euros.

La instalación de 47 placas adicionales supone una inversión de 47 placas \times 160 €/placa = 7.520 euros, por lo que el periodo de retorno es de:

$$\frac{7.520 \text{ €}}{8.475 \text{ €/año}} \times 12 = 11 \text{ meses}.$$

6.3.5. Procedimiento CIP eficiente

Los sistemas de limpieza CIP (abreviatura de Cleaning In Place, véase Equipos de limpieza en el apartado de Equipos de Proceso) tienen una repercusión importante dentro de los consumos energéticos en la Industria Láctea. Las principales pérdidas de energía en dichos sistemas son debidas a:

- Continuo calentamiento y enfriamiento de los tanques y tuberías.
- Pérdidas de calor por radiación de las tuberías.
- Pérdidas de la solución alcalina o de agua ácida en la transición entre la evacuación de los productos químicos y la entrada de agua fría.

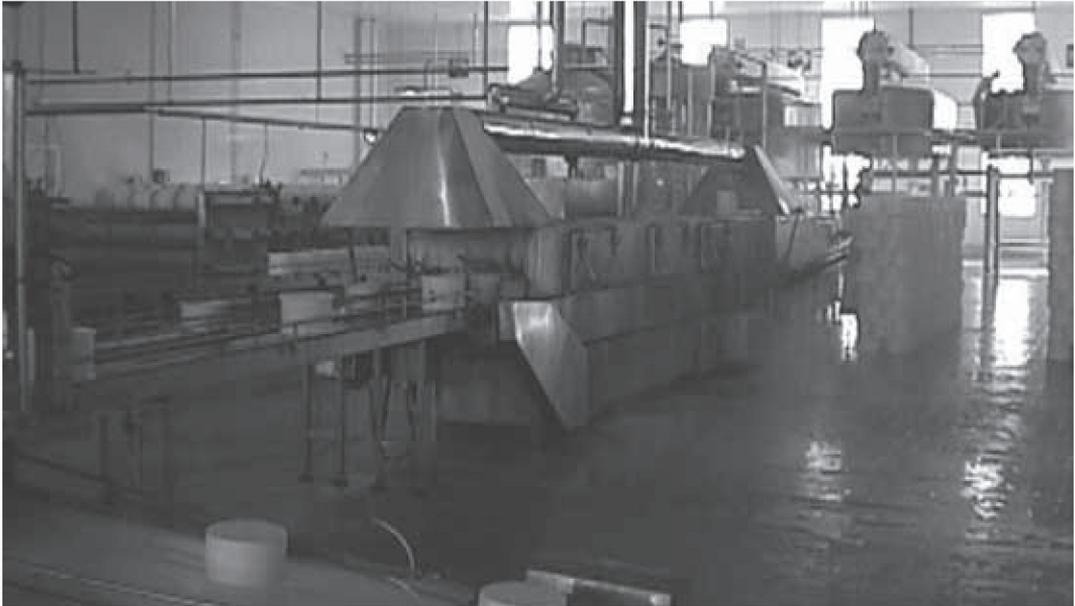


Figura 40. Túnel de lavado.

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez, S.A.

Las dos primeras pérdidas dependen de la temperatura de las soluciones químicas y deben minimizarse tanto como sea posible. Sin embargo, la pérdida de la solución química caliente en los periodos de transición es la más importante. Para reducir el valor de estas pérdidas, el sistema CIP debe ser dividido en tantos subsistemas como sea posible.

Una forma efectiva de reducir las pérdidas de calor es introducir limpieza en un solo paso que permite una disolución de la grasa, la desinfección y la pasivación de las superficies de acero. Esto reduce el tiempo de limpieza y elimina un aclarado de agua fría intermedio. Este CIP es útil para depósitos y elementos no calentados y que no estén demasiado sucios.

De forma genérica, se puede decir que el tiempo de duración de la operación y la energía consumida en el proceso dependen de:

- La velocidad de flujo, la concentración y la temperatura de la solución alcalina y ácida.
- El conjunto de equipos que se están limpiando.

La concentración de sustancias químicas debe ser medida de forma muy exacta, para saber en qué momento deben reciclarse estas soluciones y reducir de esta manera la cantidad de energía térmica desperdiciada con las aguas residuales. Por ello es importante que los sensores utilizados para monitorizar el proceso CIP sean comprobados y limpiados regularmente. Si los sensores están en un mal estado, se pueden producir considerables pérdidas de energía. Para detectar dichas pérdidas así como la existencia de otras pérdidas de agua, productos químicos o de tiempo invertido en el proceso, y calcular posibles ahorros de usar agua fría, debe realizarse un diagnóstico del sistema CIP.

El diagnóstico consiste en tomar una serie de medidas en el sistema y analizarlas con ayuda del ordenador mediante un programa informático de los que existen en el mercado para optimizar el CIP, elaborados por distintas marcas comerciales fabricantes de equipos. Se obtiene como resultado un diagnóstico de corrección de temperaturas, concentraciones, flujos, etc. para cada programa de lavado.

Como ejemplo de aplicación de dicho diagnóstico, se analiza el caso de una empresa láctea con un programa de 50 lavados diarios, distribuidos de la forma mostrada en la tabla 69. También se indica en ella el vapor consumido en cada limpieza y su coste total. El combustible empleado para producir el vapor es fuelóleo, con un rendimiento de 13,1 kg de vapor/kg fuelóleo. Esto se traduce en un consumo energético de 0,013 tep/kg de vapor, con un coste de 0,018 €/kg de vapor.

	Vapor por limpieza (kg)	nº de limpiezas	Costes totales de limpieza (€)
Tuberías	128	18	42
Depósitos	85	28	43
Pasterizador	149	4	11
Agua caliente eliminado	2.393		44
	Costes totales (€)		140

Tabla 69. Consumo diario de vapor de un sistema CIP

Fuente: Datos de la muestra.

Tras la realización de un diagnóstico del sistema CIP en la fábrica, se detectó la necesidad de reducir el tiempo de limpieza así como de mejorar la transición entre fases, obteniéndose de esta forma una reduc-

ción de costes del 15%, debido al menor consumo de vapor y de detergentes, lo que supuso un ahorro económico de 21 €/día. Como la fábrica trabaja 250 días al año, el ahorro anual asciende a 5.250 euros.

La realización del diagnóstico supuso 11.000 €, por lo que el periodo de amortización fue de:

$$\text{Periodo de amortización} = \frac{11.000 \text{ €}}{5.250 \text{ €/año}} \times 12 \text{ meses/año} = 25 \text{ meses}$$

El ahorro energético resultante, originado por la reducción de las necesidades diarias de vapor en 163 kg, fue de 2,15 tep/día, lo que supone un 6% del consumo energético inicial. Esto representa un ahorro energético anual de 537 tep.

7. ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez se ha detectado la posibilidad de implantar una mejora energética, ésta debe ser evaluada económicamente con el fin de determinar su viabilidad.

Previamente a abordar el análisis económico de un proyecto de mejora energética se requiere caracterizarla, definiendo aspectos tales como los que se presentan en la tabla siguiente.

Mejora propuesta				Fecha		
Descripción				Responsable		
.....					
Mejoras relacionadas				Suministradores		
.....					
Energía o Combustible	Consumos Actuales		Consumo Previstos		Ahorro anual	
	Energía	€	Energía	€	Energía	€
Fuelóleo (t/año)						
Gas Natural (Nm ³ /año)						
Gasóleo (t/año)						
Propano (Nm ³ /año)						
Otros						
E. eléctrica (kWh/año)						
TOTAL						
Costes directos: equipos, procesos, sistemas, mano de obra						€
Costes indirectos: paradas, pérdidas de producción, deficiencias en calidad						€
INVERSIÓN TOTAL						€
Periodo de amortización		$\frac{\text{Inversión total (€)}}{\text{Ahorro total/año}} = \dots\dots\dots$ años				
Revisado por						

Tabla 70. Cuadro soporte para la evaluación preliminar de mejoras.

Fuente: Centro de Estudios de la Energía.

La descripción del análisis económico se acompaña, con el objeto de facilitar su comprensión, de un ejemplo numérico correspondiente a la mejora expuesta en el apartado 6.2.1. (Optimización de la combustión mediante su regulación automática).

Mejora propuesta. Optimización de la combustión.				Fecha. 05/02/07		
Descripción. Regulación automática de la combustión.				Responsable. Jefe de Mantenimiento.		
Mejoras relacionadas. Control de la combustión, reducción del caudal de purga.				Suministradores. Los habituales		
Energía o Combustible	Consumos Actuales		Consumo Previstos		Ahorro anual	
	Energía	€	Energía	€	Energía	€
Fuelóleo (t/año)	462	138.600	436	130.800	26	7.800
Gas Natural (Nm³/año)						
Gasóleo (t/año)						
Propano (Nm³/año)						
Otros						
E. eléctrica (kWh/año)						
TOTAL	462	138.600	436	130.800	26	7.800
Costes directos: equipos, procesos, sistemas, mano de obra						13.700 €
Costes indirectos: paradas, pérdidas de producción, deficiencias en calidad						1.100 €
INVERSIÓN TOTAL						14.800 €
Periodo de amortización $\frac{\text{Inversión total (€)}}{\text{Ahorro total/año}} = 1,9 \text{ años (23 meses)}$						
Revisado por Gestor de la energía						

Tabla 71. Análisis económico de la optimización de la combustión.

* Se ha considerado un precio medio de 0,30 €/kg para el fuelóleo.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la muestra.

El grado de detalle del análisis económico depende de la cuantía de la inversión y de los recursos financieros disponibles. Deben considerarse dos niveles: uno básico o selección preliminar de mejoras y otro de análisis en detalle.

Por último, se estudiará la estructura de la oferta de financiación a la que puede acceder la empresa.

7.1. ANÁLISIS ECONÓMICO A NIVEL BÁSICO

A este nivel de análisis, los parámetros de evaluación no tienen en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo.

Tiempo de retorno o periodo de amortización

Este criterio, definido como el cociente entre la inversión y el ahorro total, puede utilizarse como primera aproximación para el cálculo de la rentabilidad de la inversión, determinando si ésta se recuperará en un plazo razonable.

No es posible fijar un periodo de amortización por encima del cual la inversión no sea viable, puesto que éste depende en gran medida de la situación económica de la empresa y de la naturaleza del proyecto. A título orientativo puede decirse que si el periodo de retorno supera la mitad de la vida útil de la mejora la inversión no es rentable.

Tasa de retorno de la inversión (TRI)

$$\text{TRI} = \frac{\text{Ahorro Anual} - \text{Depreciación}}{\text{Inversión}} \times 100$$

El TRI tiene en cuenta la vida útil estimada de la mejora a través de la depreciación –considerada como lineal a este nivel de detalle– lo que permite establecer comparaciones con alternativas de inversión de distinta vida útil.

Como referencia puede decirse que valores del TRI inferiores al 10% desaconsejan una inversión.

En el ejemplo de la tabla 74 el TRI, suponiendo una depreciación lineal a 10 años, resulta ser de:

$$\text{TRI} = \frac{7.800 \times 1.370}{14.800} \times 100 = 43,45\%$$

7.2. ANÁLISIS ECONÓMICO EN PROFUNDIDAD

Los criterios propuestos tienen en cuenta el valor del dinero a lo largo del tiempo pero obvian, por simplicidad, las fluctuaciones en los precios de los combustibles, la inflación y los impuestos. El nivel de análisis necesario para contemplar estos aspectos queda fuera del propósito del presente documento.

Se denotará por k al tipo de interés de una inversión sin riesgo. Suele tomarse como referencia el tipo de interés de los Bonos u Obligaciones del Estado al mismo plazo que la vida útil de la mejora.

Valor actualizado neto (VAN)

Se llama valor actual neto de una cantidad S a percibir al cabo de n años con una tasa de interés k , a la cantidad que, si se dispusiera de ella hoy, generaría al cabo de n años la cantidad S .

Este criterio considera los flujos netos generados por la medida implantada durante su vida útil (n) y traslada su valor al momento actual utilizando k como tasa de descuento.

Para cada periodo –normalmente un año– se calculará el flujo neto como la diferencia entre los ahorros energéticos y los costes directos e indirectos asociados a la inversión.

$$\text{VAN} = \sum_{i=0}^n \frac{\text{Flujo neto}}{\left(1 + \frac{k}{100}\right)^i}$$

Una inversión es atractiva si su VAN es positivo, y tanto más cuanto mayor sea éste.

Volviendo al ejemplo de la tabla 74, considerando un tipo de interés del 5% y una duración del proyecto de inversión de 15 años, el VAN resulta ser de:

$$\text{VAN} = \sum_{i=1}^{15} \frac{7.800}{\left(1 + \frac{5}{100}\right)^i} - 14.800 = 66.161\text{€}$$

Tasa interna de retorno (TIR)

El TIR es el valor del parámetro r para el cual el VAN de los flujos generados por el proyecto durante su vida útil iguala el valor de la inversión inicial realizada (I_0).

$$\text{TIR} = r \Leftrightarrow I_0 = \sum_{i=0}^N \frac{\text{Flujo Neto}}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i}$$

En el ejemplo:

$$14.800 = \sum_{i=1}^{15} \frac{7.800}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} \Rightarrow \text{TIR} \cong 52.6\%$$

Otros aspectos a considerar

- Riesgo inherente a cualquier proyecto de inversión.
- Situación de los mercados crediticios.
- Aseguramiento de la inversión.

7.3. ANÁLISIS DE LA OFERTA DE FINANCIACIÓN.

A continuación se describen distintas formas de financiación de proyectos energéticos:

Inversiones con fondos propios

Constituyen la solución más simple en el caso de que el propietario de las instalaciones tenga los fondos necesarios. Si el periodo de retorno es bajo, la inversión se podrá autofinanciar.

El problema aparece cuando la inversión se realiza en medios alternativos de producción de energía, como es el caso de la cogeneración. En estos casos, la inversión puede superar con mucho las posibilidades de la empresa y hay que buscar fuentes externas de financiación.

Financiación tradicional

Si la empresa presenta un buen estado financiero, las inversiones energéticas se pueden añadir a la financiación del resto de las inversiones: mediante la solicitud de créditos con garantías propias de las empresas o de los empresarios.

Este tipo de financiación presenta la ventaja de que se puedan negociar los periodos y el tipo de amortización de los préstamos, pero sólo es aplicable a inversiones moderadas en empresas financieramente estables.

Financiación fuera de balance

Se trata de una variante de la financiación tradicional en la cual se analiza la rentabilidad del proyecto y, en función de ésta, la entidad financiera asume el riesgo de la inversión. Los resultados netos de la inversión se dedican preferentemente al pago del préstamo.

Aquí la garantía de la financiación viene dada por la propia inversión, en este caso los ahorros energéticos.

Este tipo de financiación no permite periodos de retorno superiores a siete años, y el tipo de interés es ligeramente superior a los préstamos normales como prima de riesgo a la inversión. Su gran ventaja es el tratamiento como operación fuera de balance, lo que permite que las empresas no vean comprometidos sus ratios de solvencia, al no contar como pasivo el importe de la financiación.

Financiación por terceros

Cuando la empresa no tiene capacidad para llevar a cabo una inversión, puede aceptar que una tercera empresa se haga cargo de ella. En este caso, el tercero realiza la inversión a cambio de recuperarla, bien a través de los ingresos o ahorros que se conseguirán con la puesta en marcha de la misma, bien mediante el pago de una cantidad fija (leasing o renting).

La empresa y el tercero pactan un reparto de los ahorros y comparten así los beneficios de la inversión.

8. MANTENIMIENTO

La práctica general en el sector lácteo quesero es la realización de un mantenimiento energético correctivo, en el que, en ocasiones, las fichas no se cumplimentan en el momento por falta de tiempo. El mantenimiento preventivo se limita a los equipos más importantes, tales como calderas, pasterizadores, esterilizadores y equipos de generación de frío.

El mantenimiento energético contempla acciones dirigidas, no sólo a la conservación y buen uso de las instalaciones y equipos, sino a la reducción del consumo y a la mejora de la eficiencia energética.

Las fases necesarias para su puesta en marcha son las siguientes:

- 1) Programar reuniones periódicas del Jefe de Mantenimiento con los responsables de operación de los equipos.
- 2) Estudiar el proceso productivo en su conjunto, identificando:
 - La programación de la producción.
 - Los equipos que influyen en mayor medida en el consumo energético, tanto directa como indirectamente.
 - Las partes de la instalación en las que no se realiza mantenimiento.
 - Las paradas improductivas y los tiempos muertos.
 - Los sistemas de movimiento y manipulación del producto.
- 3) Analizar los sistemas de mantenimiento existentes y ampliarlos o modificarlos.

El mantenimiento energético, al igual que el mantenimiento general de la fábrica, puede entenderse a dos niveles: **preventivo** y **correctivo**. El primero implica unos costes mayores en comprobaciones y mediciones que el segundo, pero permite obtener un mejor rendimiento de la instalación al reducir el número de averías. Resulta lógico tender, por motivos económicos, hacia un equilibrio entre ambos tipos de mantenimiento.

Mantenimiento preventivo

La realización de un mantenimiento preventivo ayuda a la detección de disfunciones antes de que éstas puedan llegar a tener repercusiones graves en producción.

Actuando de forma coordinada con el departamento de producción, debe asegurar el funcionamiento continuo de la instalación, optimizando el rendimiento energético de todos los equipos integrantes de la misma, reduciendo su consumo y los costes de operación.

Para su puesta en práctica pueden elaborarse una serie de **fichas** asociadas a cada módulo consumidor de energía, en las que aparecerán las tareas de mantenimiento a realizar y la periodicidad de las mismas.

Las tablas siguientes muestran, a título de ejemplo, algunas de las principales tareas de mantenimiento preventivo en las industrias lácteas. La periodicidad de la toma de datos es orientativa; para más información deben consultarse las instrucciones de los suministradores de equipos.

Mantenimiento preventivo. PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE FRÍO		
ELEMENTO	OPERACIÓN	PERIODICIDAD
MÁQUINAS FRIGORÍFICAS	Limpiar los condensadores e intercambiadores.	Diaria
	Comprobar los cierres en sistemas de gases o líquidos a presión en bombas, ventiladores, etc.	Mensual
	Comprobar las correas de transmisión.	Bimensual
	Control de los niveles de refrigerante, aceite, etc.	Semanal
	Revisar el estado de la bomba de impulsión.	Mensual
REDES DE DISTRIBUCIÓN	Revisar el aislamiento de tuberías.	Mensual
	Purgar los fluidos no condensables en el circuito de fluido refrigerante.	Mensual
INSTRUMENTACIÓN	Recalibrar todos los medidores e instrumentación.	Semestral

Tabla 72. Mantenimiento preventivo en producción y distribución de frío.

Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento preventivo. PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE VAPOR		
ELEMENTO	OPERACIÓN	PERIODICIDAD
GENERADOR DE VAPOR	Chequear la preparación de los combustibles.	Semestral
	Limpiar los quemadores.	Bimensual
	Limpiar la caldera de corrosiones y depósitos.	Anual
	Controlar el proceso de combustión.	Mensual
	Controlar fugas y aislamientos.	Bimensual
	Controlar el tratamiento de aguas.	Trimensual
REDES DE VAPOR Y CONDESADO	Inspeccionar, verificar y reparar purgadores de vapor.	Mensual
	Chequear aislamientos de líneas y elementos accesorios.	Semestral
	Estudiar fugas en tuberías, válvulas, juntas de bridas, etc.	Mensual
	Evitar arrastres de agua con vapor.	Semanal
INSTRUMENTACIÓN	Poner a punto la instrumentación de control.	Anual

Tabla 73. Mantenimiento preventivo en producción y distribución de vapor.

Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento preventivo. SECADEROS EN LA INDUSTRIA QUESERA		
ELEMENTO	OPERACIÓN	PERIODICIDAD
EQUIPOS	Limpiar los equipos.	Bisemanal
	Comprobar las correas de transmisión.	Semanal
	Asegurar la estanqueidad de puertas.	Mensual
CONDUCTOS	Revisar la estanqueidad de los conductos de aire y gases.	Semanal
	Comprobar la red de combustible en cuanto a temperaturas, aislamientos, bombas, sistemas de calefacción, etc.	Mensual
	Limpiar los filtros.	Mensual
PROCESO	Comprobar el funcionamiento correcto de la regulación de temperatura.	Semanal
	Calcular los rendimientos de los secaderos en las diferentes condiciones de trabajo.	Semestral
INSTRUMENTACIÓN	Recalibrado.	Semestral

Tabla 74. Mantenimiento preventivo en secaderos.

Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento preventivo. AIRE COMPRIMIDO		
ELEMENTO	OPERACIÓN	PERIODICIDAD
ASPIRACIÓN	Verificar que el aire esté frío y seco.	Semanal
	Comprobar que la aspiración está protegida contra la lluvia.	Semestral
	Comprobar la limpieza de los filtros.	Mensual
COMPRESORES	Chequear correas conductoras, válvulas de maniobra, pistones, etc.	Mensual
REFRIGERACIÓN	Limpieza de tuberías de refrigeración.	Diaria
	Comprobar el aprovechamiento del calor generado en la refrigeración.	Semestral
DISTRIBUCIÓN	Detección de fugas, principalmente en válvulas de seguridad.	Semanal
INSTRUMENTACIÓN	Puesta a punto de la instrumentación de control.	Anual

Tabla 75. Mantenimiento preventivo en aire comprimido.

Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento preventivo. VARIOS		
ELEMENTO	OPERACIÓN	PERIODICIDAD
COMBUSTIBLES	Medir la composición de los gases de combustión y ajustar quemadores.	Mensual
	Revisar los equipos de combustión.	Mensual
	Analizar el combustible.	Semestral
MATERIAL ELÉCTRICO	Detectar contactos defectuosos y derivaciones.	Mensual
	Sustitución de fusibles.	Variable
	Revisión de motores.	Mensual
NAVES	Comprobar el sistema de calefacción y aire acondicionado.	Semestral
	Limpiar paredes para aumentar la reflectividad luminosa.	Anual
	Limpiar las lámparas de iluminación.	Semestral

Tabla 76. Mantenimiento preventivo en elementos varios.

Fuente: Elaboración propia.

Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo consta de dos acciones: la detección de la avería y la reparación de la misma, que deben ser coordinadas por el Jefe de Mantenimiento.

Para cada incidencia, puede rellenarse un parte de averías en formato normalizado, tal como se muestra en la tabla siguiente.

Área.....	Proceso	
Incidencia nº	Revisión	Fecha
A completar por el personal de EXPLOTACIÓN		
Turno: 1° – 2° – 3° – Responsable		
Fecha y hora de la incidencia		
Descripción		
.....		
Posibles causas		
.....		
A completar por el personal de MANTENIMIENTO		
Costes de la incidencia		
Orden de reparación		
Responsable		
Fecha y hora de reparación		
Posibles causas		
Medios empleados en la reparación		
Personal		
Costes de reparación		
Frecuencia de la avería		

Tabla 77. Parte de averías de mantenimiento correctivo.

Fuente: Centro de Estudios de la Energía.

Estos partes se integrarán en una base de datos, habitualmente en soporte informático, de la que es posible extraer información estadística acerca de la frecuencia de las averías. Con dichas frecuencias históricas es posible establecer la periodicidad del mantenimiento preventivo.

9. FORMACIÓN Y SENSIBILIZACIÓN

La utilización racional de los recursos energéticos en una empresa va directamente ligada a la formación y sensibilización de su personal.

Establecer unos objetivos de ahorro energético, formar a la plantilla acerca de cómo alcanzarlos y motivarla en ese sentido, supone, a medio plazo, una reducción significativa de los costes energéticos de una empresa.

Un programa de formación requiere determinar los temas prioritarios, seleccionar los medios a emplear y motivar al personal para que tome parte en el mismo, mediante el reconocimiento de los logros alcanzados.

Temas prioritarios de formación

En las industrias lácteas, la prioridad de los cursos de información puede establecerse de la siguiente forma:

Prioridad 1

- **Instalaciones frigoríficas:** principios de funcionamiento, rendimientos y factores que influyen en los mismos, etc.

- **Instalaciones de generación de vapor:** combustibles, gases de escape, optimización de rendimientos, reglamentación sobre combustiones y calderas, etc.
- **Instalaciones de aire comprimido:** compresores, conductos de distribución, válvulas y accionadores neumáticos, presiones de trabajo, detección de fugas en conducciones, técnicas de utilización, reglamentación existente, etc.
- **Control de calidad:** incidencia de la calidad y de la composición del producto final en los consumos energéticos.
- **Sistemas de seguimiento y mantenimiento energético:** metodología de seguimiento y evaluación de procesos desde el punto de vista energético, control automático y monitorización, determinación de indicadores y valores de referencia, periodicidad de las tomas de datos, etc.

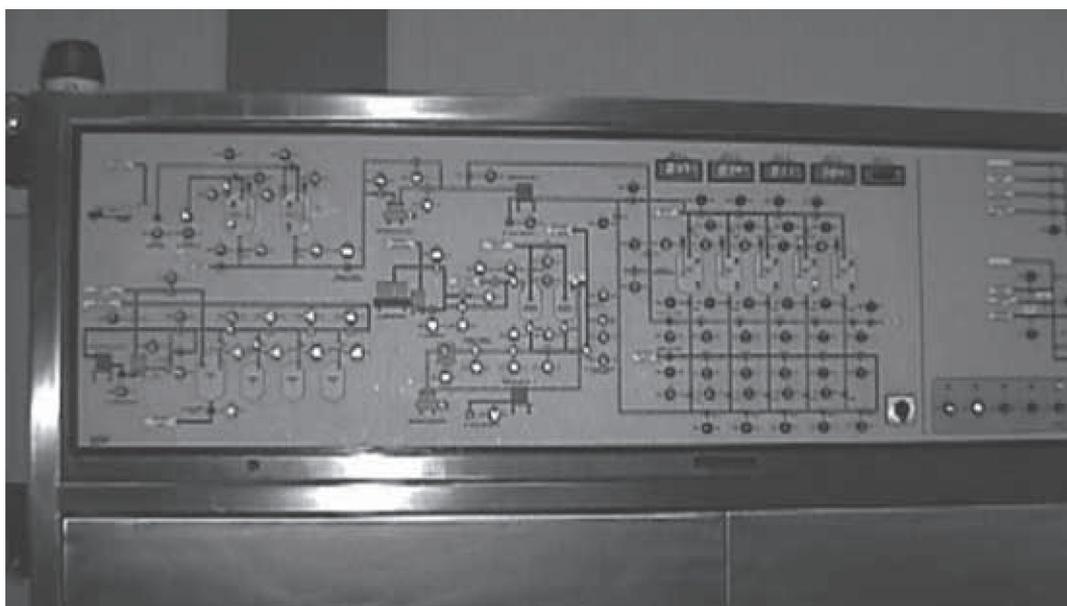


Figura 41. Panel de control.

Fuente: Cortesía de Hijos de Salvador Rodríguez, S.A.

Prioridad 2

- Variadores eléctricos de velocidad en motores.
- Alumbrado.
- Calefacción y acondicionamiento de aire.
- Otros.

La difusión de cuestionarios entre el personal de la empresa permitirá evaluar los hábitos de los trabajadores en el uso de la energía y obtener información acerca de otros temas prioritarios de formación.

Medios a emplear

Dependiendo del contenido del curso y de sus destinatarios se definirán los medios materiales y personales necesarios.

Medios materiales

- Cursos y conferencias.
- Cuestionarios y encuestas.
- Canales de comunicación existentes en la empresa.
- Folletos con buenas prácticas energéticas.
- Sistemas de sugerencias dirigidas hacia el ahorro energético.
- Carteles, slogans, adhesivos, etc.
- Mesas redondas, coloquios, jornadas, etc.

Medios personales

Las personas encargadas de impartir los cursos deben aportar experiencia personal y dotes de comunicación.

Los conocimientos técnicos no son suficientes; deben compaginarse con la capacidad de llegar a las personas, sobre todo en temas relativos a la gestión de la energía, donde las barreras humanas son tan importantes como las técnicas.

Reconocimiento de los logros alcanzados

Hay que tener en cuenta que, aunque para la dirección de la empresa la principal razón para el ahorro energético es la de la reducción de costes, ésta no conseguirá motivar directamente a los trabajadores. Por lo tanto, será más efectivo relacionarlo con los valores personales e intereses de los empleados, como pueden ser el impacto medioambiental y el reconocimiento público de los logros que obtengan.

El objetivo a perseguir a largo plazo debe ser el de integrar la eficiencia energética en la cultura de la empresa, incluyendo la gestión de la energía en el sistema de calidad.

10. ORGANIZACIÓN EMPRESARIAL PARA LA GESTIÓN DE LA ENERGÍA

La mejora de la eficiencia energética implica a todos los estamentos de una empresa y a gran número de personas, lo que hace necesario definir una estructura de gestión.

Estructura de los órganos de gestión

Un esquema básico, con los distintos niveles de organización planteada puede verse en la figura 42. Las flechas indican los flujos naturales de información: los directores de los distintos departamentos de la planta envían los datos recabados al Gestor de la Energía, que es el encargado de su análisis y de redactar un informe para la alta dirección con medidas de mejora.

Será la alta dirección la que tome la decisión de poner en marcha dichas medidas en base a un análisis técnico y económico. Si lo estima oportuno, difundirá la información entre la plantilla con objeto de sensibilizarla acerca de la necesidad de mejorar la eficiencia energética.

En aquellas industrias lácteas en las que no es viable económicamente la existencia de la figura del Gestor de la Energía –aquellas en las que, como valor de referencia, el consumo energético anual sea inferior a los 725.000 euros– el jefe de mantenimiento puede asumir sus funciones.

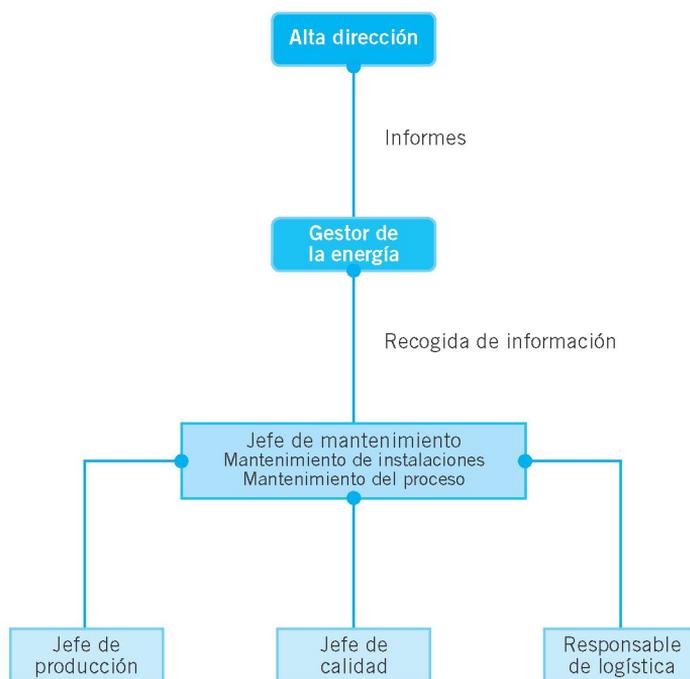


Figura 42. Estructura del órgano gestor de la energía.

Fuente: Elaboración propia.

El Gestor debe ser una persona altamente cualificada, tanto en el plano técnico como en el económico, con un prestigio reconocido a todos los niveles de la empresa y con dedicación suficiente. Está demostrado que en casos de responsabilidad compartida, los resultados son escasos y de segunda o tercera prioridad desde el punto de vista personal.

Sus funciones tendrán que estar respaldadas de forma explícita por la Dirección de la empresa, recibiendo la colaboración de los departamentos de Mantenimiento, Producción, Calidad y Logística.

Funciones del gestor de la energía

Con el objeto de canalizar, promover y coordinar los esfuerzos en el área de la energía, así como de fomentar el ahorro, la mejora de la eficiencia energética y el uso racional de la energía, asumirá las siguientes funciones:

- Poner en marcha, de forma escalonada, las distintas mejoras energéticas y realizar su seguimiento y evaluación.
- Controlar el aprovisionamiento energético y el almacenamiento de combustibles – caso de ser necesario.
- Contabilizar los consumos energéticos en fábrica, manteniendo una estadística periódica de los mismos y de los indicadores asociados.
- Fomentar y desarrollar programas de asesoramiento y auditorías energéticas, para determinar las posibilidades de ahorro y de mejora de la eficiencia energética.

- Diseñar programas de racionalización del uso de la energía.
- Elaborar estudios, realizar y emitir informes y recomendaciones de aplicación de tecnologías energéticas.
- Intensificar el mantenimiento energético.
- Asesorar a los distintos departamentos de la empresa en materia de planificación y programación energética y en el uso racional de la energía.
- Realizar estudios, dictámenes y otras actividades de asesoramiento técnico y administrativo, en materias energéticas.
- Organizar programas de formación y reciclaje profesional.
- Establecer las correspondientes relaciones de cooperación con los diferentes departamentos implicados en el uso de la energía.
- Emitir instrucciones y procedimientos que definan de forma precisa aquellas actuaciones encaminadas a alcanzar los objetivos.
- Servir de interlocutor entre la empresa y los órganos energéticos a nivel regional y nacional.

Atribuciones

Para poder desarrollar sus funciones, el Gestor de la Energía deberá disponer de atribuciones funcionales y jerárquicas sobre el resto de departamentos de la fábrica, tales como:

- Solicitar información a otras secciones de la empresa.
- Elegir los suministradores de combustibles y de energía eléctrica en los casos en que sea posible.
- Ordenar la realización de ensayos, tomas de datos y análisis.
- Disponer de un apartado presupuestario propio.

Autoridad

El nivel de autoridad del Gestor, dentro de la escala jerárquica de la empresa, se sitúa inmediatamente después de la gerencia, teniendo potestad para:

- Aceptar o rechazar sugerencias del personal.
- Diseñar programas de formación de los empleados.
- Asignar tareas a los distintos departamentos.

11. INTERRELACIONES EMPRESARIALES

Con el fin de extrapolar las medidas de ahorro y eficiencia energética desarrolladas en una empresa a global de la Industria Láctea regional, es necesaria la creación de una Comisión Técnica encargada de recabar, analizar y divulgar las características de dicha medida.

La Federación Castellano Leonesa de Industrias Lácteas, si bien sólo agrupa 80 de las más de 200 empresas del sector, puede asumir las funciones planteadas y convertirse así en un órgano de enlace, tanto entre las empresas de Castilla y León, como a nivel nacional y europeo, manteniendo una comunicación con la Asociación Nacional.

En un primer paso, la Federación establecerá un formato estandarizado para la notificación de mejoras energéticas. La tabla siguiente representa una propuesta de modelo normalizado.

Empresa		Fecha de implantación		Fecha de llegada del informe	
MEJORA		Suministradores			
Descripción					
.....					
Consumos energéticos previos a la mejora			Consumos energéticos posteriores		
Fuelóleo	tep	Fuelóleo	tep		
Gas natural	tep	Gas natural	tep		
Gasóleo	tep	Gasóleo	tep		
En. Eléctrica	tep	En. Eléctrica	tep		
TOTAL	tep	TOTAL	tep		
Consumo específico	tep/u	Consumo específico	tep/u		
Resultados de la mejora			Inversiones		
Aumento de producción	u/año	Equipos	€		
Ahorro energético	tep/año	Costes indirectos	€		
Vida útil estimada.....	años	Costes directos	€		
Ahorro total.....	€/año	Inversión total	€		
Periodo de retorno					
años					
Comentarios (dificultades de operación, necesidades de formación, etc.)					
.....					
.....					

Tabla 78. Modelo normalizado de análisis de mejoras.

Fuente: Elaboración propia.

Tras la recepción de las mejoras en el formato anterior, la Comisión analizará su eficiencia energética, para pasar, caso de considerarla adecuada, a difundir, entre las empresas interesadas, un informe detallado que permita evaluar la viabilidad económica de su implantación.

De igual modo, el Comité realizará un seguimiento de la puesta en marcha de las mejoras asesorando técnicamente a las empresas, siempre que sea posible y extrayendo conclusiones acerca de la aplicación particular de la medida en cada fábrica.

ANEXOS

I BIBLIOGRAFÍA

- EUROPEAN COMMISSION,
DIRECTORATE-GENERAL FOR ENERGY (DG XVII):
Cogeneration in the agrofood sector 1995.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES
DIRECTORATE GENERAL FOR ENERGY (DG
XVII):
Review of Energy Efficient Technologies in the
Dairy Industry Sector. 1992.
- EUROPEAN COMMISSION
DIRECTORATE GENERAL FOR ENERGY:
The application of computers to energy manage-
ment in industry.
- MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGÍA:
Manuales Técnicos y de Instrucción para
Conservación de Energía.
Tomo 2. Generación de Vapor.
Tomo 3. Redes de distribución de fluidos térmi-
cos.
Tomo 4. Aislamiento térmico.
Tomo 6. Producción de frío industrial.
- GOBIERNO VASCO.
CENTRO PARA EL AHORRO Y DESARROLLO
ENERGÉTICO Y MINERO, S.A.
Manual de Eficiencia Energética Térmica en la
Industria. Tomos I y II. 1984.
- JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN
Estadística energética de Castilla y León.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN
Y EL AHORRO ENERGÉTICO:
Uso Eficiente de Energía en Calderas y Redes de
Fluidos.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA
Técnicas energéticas en la industria láctea. 1973.
- CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y HACIENDA. JUNTA
DE CASTILLA Y LEÓN.
Estudio sobre innovación tecnológica en el área de
conservación de la energía en el sector lácteo de
Castilla y León. 1993.
- CADDET
Energy Management in Industry. 1995.
- CENTRO DE ESTUDIOS DE LA ENERGÍA
La Gestión Energética en el Vidrio Hueco. 1981.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL
AHORRO ENERGÉTICO
Eficiencia Energética en la Pequeña y Mediana
Industria: Sector Curtidos. 1995.
- INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL
AHORRO ENERGÉTICO
Eficiencia Energética en la Pequeña y Mediana
Industria: Sector Conservas Alimenticias. 1995.
- EUROPEAN COMMISSION. DG III
Panorama of EU Industry 95/96. 1995.
- INSTITUT CATALÀ D'ENERGIA
Les Instal.lacions Frigorífiques de la Indústria
Agroalimentària. 1993.
- TETRA PAK
Manual de Industrias Lácteas. 1996.
- Revista ILE (Industrias Lácteas Españolas). Años
1997, 1998, 1999.

II UNIDADES DE MEDIDA

UNIDADES BÁSICAS		
MAGNITUD	NOMBRE	SÍMBOLO
Longitud	Metro	m
Masa	Kilogramo	kg
Tiempo	Segundo	s
Intensidad eléctrica	Amperio	A
Temperatura	Kelvin	k
Cantidad de materia	Mol	mol
Intensidad luminosa	Candela	cd
ALGUNAS UNIDADES DERIVADAS		
Superficie	metro cuadrado	m ²
Volumen	metro cúbico	m ³
Energía, Trabajo o Calor	Julio	J
Presión	Pascal	Pa

Tabla 79. Sistema internacional de unidades.

Fuente: Elaboración propia.

MULTIPOS Y SUBMÚLTIPLOS		
FACTOR	PREFIJO	SIMBOLO
10 ⁻¹⁸	Atto	a
10 ⁻¹⁵	Femto	f
10 ⁻¹²	Pico	p
10 ⁻⁹	Nano	n
10 ⁻⁶	Micro	u
10 ⁻³	Mili	m
10 ⁻²	Centi	c
10 ⁻¹	Deci	d
10 ¹	Deca	da
10 ²	Hect	h
10 ³	Kilo	k
10 ⁶	Mega	M
10 ⁹	Giga	G
10 ¹²	Tera	T
10 ¹⁵	Peta	P
10 ¹⁸	Exa	E

Tabla 80. Múltiplos y submúltiplos.

Fuente: Elaboración propia.

CONCEPTO	DE USO COMÚN	S. INTERNACIONAL
ENERGÍA: Calorífica Eléctrica	kilocaloría (kcal) kilowatio-hora(kWh)	Julio (J)
POTENCIA: Calorífica Eléctrica	Kilocaloría por hora (kcal/h) kilowatio	Vatio (W)
PODER CALORÍFICO: Sólidos y líquidos Gases	Kilocaloría por kilogramo (kcal/kg) Kilocaloría por Nm ³ (kcal/Nm ³)	Julio por Kilogramo (J/kg) Julio por Nm ³ (J/Nm ³)
TEMPERATURA	Grado centígrado (°C)	Grado Kelvin (K)
PRESIÓN	Kilogramos fuerza por cm ²	Pascal (Pa)
CAUDAL	Metros cúbicos por hora (m ³ /h) Kilogramos por hora (kg/h)	m ³ /seg

Tabla 81. Unidades de uso común.

Fuente: Elaboración propia.

UNIDAD	Julios	Kilocalorías	Termias	KWh	Tep
Julio (J)	1	238,89X10 ⁻⁶	238,89X10 ⁻⁹	277,78X10 ⁻⁹	23,889X10 ⁻¹²
Kilocaloría (kcal)	4,186X10 ³	1	10 ⁻³	1,1628X10 ⁻³	10 ⁻⁷
Termia (Te)	4,186X10 ⁶	10 ³	1	1,1628	10 ⁻⁴
Kilowatio hora (kWh)	3,6X10 ⁶	860	860X10 ⁻³	1	86X10 ⁻⁶
tep	41,86X10 ⁹	10 ⁷	10 ⁴	11,6279X10 ³	1

Tabla 82. Relación entre las principales unidades de energía, trabajo o cantidad de calor.

Fuente: Elaboración propia.

Fuelóleo	0,960 tep/t
Gasóleo C	1,035 tep/t
Propano	1,130 tep/t
Gas natural	1,080 tep/t
Electricidad	0,086 tep/MWh

Tabla 83. Conversión a tep.

Fuente: Elaboración propia.

III CARACTERÍSTICAS DE LOS COMBUSTIBLES

FUELÓLEO N° 1 Y FUELÓLEO N° 1 BIA

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES MEDIDA	LÍMITES
Azufre	% Peso	2,70 máx
Viscosidad cinemática a 100 °C	mm ² /s	25 max
Punto inflamación	°C	65 min
Agua y sedimento	% volumen	1 max
Agua	% volumen	0,5 max
Poder calorífico inferior (PCI)	Kcal/kg	9.600
Poder calorífico superior (PCS)	Kcal/kg	10.100

Tabla 84. Combustibles líquidos: fuelóleo n° 1 y fuelóleo n° 1 BIA.

Fuente: MINER.

GASÓLEO C

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES DE MEDIDA	LÍMITES
Azufre	% peso	0,2 máx.
Viscosidad cinemática a 40 °C	mm ² /s	7,0 máx.
Punto de inflamación	°C	60 mín.
Agua y sedimento	% volumen	0,1 máx.
Densidad a 15 °C	kg/m ³	900
Poder Calorífico Inferior (PCI)	kcal/kg	10.100
Poder Calorífico Superior (PCS)	kcal/kg	10.700

Tabla 85. Combustibles líquidos: gasóleo C.

Fuente: MINER.

COMBUSTIBLES GASEOSOS. Gas natural (de Argelia)

CARACTERÍSTICAS	
Poder Calorífico Superior (PCS)	10119 kcal/Nm ³
Densidad Relativa	0,6003
Indice de Wobbe (W)	13188 kcal/Nm ³
Indice de Delbourg ©	42,21

Tabla 86. Combustibles gaseosos: gas natural de Argelia.

Fuente: MINER.

IV LEGISLACIÓN

Extracto de normativa legal energética aplicable.

- Estrategia Española de Eficacia Energética (EU).
- El Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010, que constituye la revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010.
- Plan de Asignación de Derechos de Emisión.
- Medidas Liberalizadoras. Real Decreto-ley 6/1999, de 16 de Abril, de Medidas Urgentes de Liberalización e Incremento de la Competencia.

Gas natural y GLP

- B.O.E. de 30/12/2005, tarificación de gas natural y G.L.P. envasado.
- B.O.E. de 19/12/2005, tarificación de G.L.P. canalizado.
- Planificación 2002-2011 de los Sectores Eléctrico y Gasista
- Ley de hidrocarburos 34/1998 de 7 de octubre.
- Norma UNE 60-601-93/1M:1996
- Orden de 25 de mayo de 1993 de la Junta de Castilla y León (BOCyL 7/6/93 y modificación 22/4/94)
- Reglamento de aparatos que usan gas como combustible.
- Reglamento de instalaciones de almacenamiento y suministro de gases licuados del petróleo en depósitos fijos y de seguridad en centros de almacenamiento y suministro de gases licuados del petróleo a granel.
- Reglamento de instalaciones de gas.
- Reglamento del servicio público de gases combustibles.
- Reglamento de aparatos a presión. REAL DECRETO 1495/1991. (BOE 15/10/91).
- Reglamento de aparatos que utilizan combustibles gaseosos. REAL DECRETO 494/1988 de 20 Mayo BOE 25/5/88.
- Ley del gas. (Ley 10/1987 de 15 de Mayo. BOE 17/6/87).
- Reglamento de redes y acometidas de combustibles gaseosos. REAL DECRETO 1853/1993 de 22 de Octubre. BOE 8/3/1994.
- Publicación mensual de precios en el BOE.

Nota: A medida que vaya siendo desarrollada, la Ley de hidrocarburos irá sustituyendo a todos estos reglamentos.

Combustibles líquidos

- Ley de hidrocarburos 34/1998 de 7 de octubre.
- REAL DECRETO 398/1996 de 1 de Marzo, especificación de gasóleos en concordancia con las de la UE.
- REAL DECRETO 2482/1986 de 25 de Septiembre, sobre especificaciones y características de combustibles líquidos.
- REAL DECRETO 1485/1987 de 4 de Diciembre, sobre especificaciones y características de combustibles líquidos.
- REAL DECRETO 1427/1997 de Instalaciones Petrolíferas para uso propio (BOE 23/10/97). MI-IPO3.
- Orden de 12 de junio de la Consejería de Industria, Comercio y Turismo, sobre procedimiento para la autorización de instalaciones petrolíferas para uso propio (BOCyL 3/8/98).

Energía eléctrica

- El REAL DECRETO 1634/2006, de 29 de diciembre, establece la tarifa eléctrica a partir del 1 de enero de 2007.
- Real Decreto 1432/2002 de metodología para la aprobación de la tarifa eléctrica media o de referencia.
- Real Decreto 2818/1998 sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos o cogeneración.
- Ley 54/1997, de 27 de Noviembre, del sector eléctrico constituye el marco regulatorio para el sistema eléctrico liberalizado de alta tensión.
- Reglamento electrotécnico para baja tensión. DECRETO 2413/1973 de 20 de Septiembre (BOE 9/10/1973) y REAL DECRETO 2295/ 1985 de 9 Octubre (BOE 12/10/1985).
- Reglamento de verificaciones eléctricas. Decreto de 12 de Marzo de 1954, BOE 15/04/54.

Cogeneración

- REAL DECRETO 661/2007.
- REAL DECRETO 616/2007.
- REAL DECRETO 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

- REAL DECRETO 2818/1998, de 23 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración. BOE 20/12/98.
- REAL DECRETO 2366/1994, de 9 de Diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas, de cogeneración y otras abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables. BOE 31/12/94.
- REAL DECRETO 907/1982, de 2 de Abril. Fomento de la autogeneración de energía eléctrica. BOE 10/5/82.
- Ley 82/1980, de 30 de Diciembre, de conservación de la energía. BOE 27/01/81.

2

2

PLAN DE
ASISTENCIA
ENERGÉTICA
EN EL SECTOR
LÁCTEO QUESERO

