

Proyecto Fin de Carrera
Grado en Ingeniería de la Energía

Auditoría energética y medidas de mejora en
cooperativa del sector agrícola

Autor: Manuel Carrasco Martín

Tutor: Juan Manuel Roldán Fernandez

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de la Energía

Auditoría energética y medidas de mejora en cooperativa del sector agrícola

Autor:

Manuel Carrasco Martín

Tutor:

Juan Manuel Roldán Fernández

Dpto. de Ingeniería Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Auditoría energética y medidas de mejora en cooperativa del sector agrícola

Autor: Manuel Carrasco Martín

Tutor: Juan Manuel Roldán Fernández

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia y amigos

A mis profesores

Agradecimientos

Este proyecto no hubiera sido posible sin la ayuda permanente de mi familia y amigos, durante todos los años de carrera; en especial a mis padres que, con su esfuerzo y consejos, han conseguido que llegue al final de esta bonita etapa.

Manuel Carrasco Martín

Sevilla, 2020

Resumen

En este proyecto se ha realizado una auditoría energética a una cooperativa dedicada al sector agroalimentario en la provincia de Ciudad Real.

Para ello, la empresa ha proporcionado todos los datos de los dos últimos años que han estado en sus manos para la realización más cercana a la realidad de las medidas de mejora propuestas.

En estas medidas mencionadas, se incluye también la viabilidad económica de las mismas, es decir, el ahorro real y el retorno de la inversión de las mejoras, ya que es un aspecto importante de la auditoría para que pueda ser llevado a la realidad.

En la realización del mismo, se han dispuesto los conocimientos adquiridos en los 4 años del grado.

Abstract

In this project, an energy assessment has been carried out for a cooperative farm with its main activity is the agriculture in the province of Ciudad Real.

For that purpose, the company has provided detailed information for the last years. With this information, a thorough analysis has been performed in order to take measures that could ensure actual savings.

The aim of the work is to develop a Project where I was able to implement all the acquired knowledge along my college days.

Agradecimientos	viii
Resumen	x
Abstract	xii
Índice	xiii
Índice de Tablas	xv
Índice de ilustraciones	xvii
Notación	xix
1 Introducción	3
1.1 <i>Definición y antecedentes</i>	3
2 Datos generales de la instalación	5
2.1. <i>Datos generales</i>	5
2.2. <i>Descripción de las instalaciones</i>	5
2.3. <i>Instalaciones consumidoras de energía</i>	6
3 Análisis de actividades	9
3.1 <i>Descripción de la actividad</i>	9
3.2 <i>Datos de producción</i>	9
4 Análisis energético	13
4.1 <i>Introducción</i>	13
4.2 <i>Energía eléctrica</i>	14
4.2.1 <i>Información de contrato y tarifa.</i>	14
4.2.2 <i>Consumo de energía eléctrica</i>	16
4.2.3 <i>Análisis de máxímetros</i>	16
4.2.4 <i>Costes de la energía</i>	17
4.2.5 <i>Consumo por periodos</i>	19
4.2.6 <i>Inventario de potencia instalada</i>	19
4.3 <i>Gas natural</i>	20
4.3.1 <i>Información de contrato y tarifa</i>	20
4.3.2 <i>Consumo de gas natural</i>	20
4.3.3 <i>Costes de gas natural</i>	21
5 Facturación energía eléctrica	23
5.1 <i>Introducción y optimización de potencia del contrato actual</i>	23
5.2 <i>Comparativa de contratos 3.1 y 6.1</i>	24
6 Medidas de mejora de eficiencia energética en iluminación	27
6.1 <i>Observaciones realizadas</i>	27
6.1.1 <i>Inventario iluminación</i>	27
6.1.2 <i>Sistemas de control y regulación</i>	28
6.2 <i>Análisis situación actual</i>	28
6.3 <i>Medidas de mejora de eficiencia energética en iluminación</i>	29
7 Medidas de mejora de eficiencia energética en frío industrial	31

7.1	<i>Observaciones realizadas</i>	31
7.1.1	Inventario equipos de frío industrial	31
7.1.2	Sistema de regulación y control	32
7.1.3	Estado de conservación y mantenimiento	32
7.2	<i>Medidas de mejora de eficiencia energética en frío industrial</i>	34
8	Medidas de mejora de eficiencia energética en generación de vapor	35
8.1	<i>Observaciones realizadas</i>	35
8.1.1	Inventario equipos de generación de vapor	35
8.1.2	Sistema de regulación y control	35
8.1.3	Estado de conservación y mantenimiento	35
8.2	<i>Medidas de mejora de eficiencia energética en frío industrial</i>	36
8.2.1	Inversión baja	36
8.2.2	Inversión alta	37
9	Medidas de mejora de eficiencia energética en motores	39
9.1	<i>Introducción</i>	39
9.2	<i>Observaciones realizadas</i>	40
9.3	<i>Medidas de mejora de eficiencia energética en motores</i>	42
10	Implantación de energías renovables	43
10.1	<i>Introducción</i>	43
10.2	<i>Observaciones realizadas</i>	43
10.3	<i>Instalación fotovoltaica como medida de mejora energética</i>	44
11	Conclusiones	47
11.1	<i>Resumen de propuestas</i>	47
12	Anexos	49
12.1	<i>Anexo I. Inventario de potencias</i>	49
12.2	<i>Anexo II. Medidas de mejora en iluminación</i>	49
12.3	<i>Anexo III. Frío industrial</i>	51
12.4	<i>Anexo IV. Tuberías de vapor</i>	53
12.5	<i>Anexo V. Generación de vapor</i>	54
12.6	<i>Anexo VI. Motores de alta eficiencia. Estudio de viabilidad económica</i>	56
12.7	<i>Anexo VI. Implantación energías renovables. Estudio de viabilidad económica</i>	59
12.7.1	Situación y distribución de módulos	59
12.7.2	Elementos que componen la instalación	61
12.7.3	Cálculo configuración de la planta	66
12.7.4	Cálculo cableado	67
12.7.5	Esquema unifilar de la planta	69
12.7.6	Viabilidad económica	69
13	Bibliografía	72
	Glosario	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Tabla resumen de datos de producción	11
Tabla 4-1. Resumen consumo energía anual por tipo.	13
Tabla 4-2. Información sobre la tarifa eléctrica	15
Tabla 4-3. Precio de la tarifa 2019	15
Tabla 4-4. Precio por términos de la tarifa de gas natural	20
Tabla 5-1. Propuesta de mejora potencia contratada.	24
Tabla 6-1. Inventario iluminación.	27
Tabla 6-2. Nivel de iluminación media por áreas.	28
Tabla 6-3. Inventario y propuesta iluminación.	30
Tabla 6-4. Resumen propuesta Led.	30
Tabla 7-1. Inventario frío industrial.	32
Tabla 7-2. Medida aislamiento de tuberías frío	34
Tabla 7-3. Resultados medidas de mejora en frío industrial	34
Tabla 8-1. Medidas de mejora aislamiento tuberías vapor.	37
Tabla 8-2. Resultados medidas de mejora instalación de vapor.	37
Tabla 9-1. Inventario motores.	41
Tabla 9-2. Resumen medidas eficiencia a motores.	42
Tabla 11-1. Conclusiones propuestas de mejora.	48
Tabla 12-1. Inventario climatización	49
Tabla 12-2. Inventario de pasteurizadores	49
Tabla 12-3. Horas totales de funcionamiento de iluminación por periodos.	50
Tabla 12-4. Estimación horas funcionamiento de iluminación por periodos.	50
Tabla 12-5. Flujos de caja para iluminación.	51
Tabla 12-6. Flujos de caja para frío industrial.	53
Tabla 12-7. Flujos de cajas aislamiento de tuberías de vapor.	54
Tabla 12-8. Datos de relevancia (coeficientes de paso y precios de la energía)	55
Tabla 12-9. Resumen consumos y coste anual propuesto	55
Tabla 12-10. Resumen ahorro y retorno de la inversión.	55
Tabla 12-11. Flujos de caja caldera biomasa.	56
Tabla 12-12. Datos eficiencia motores 2065 horas uso.	57
Tabla 12-13. Rendimiento propuesto motores 2065 horas.	57
Tabla 12-14. Distribución periodo de horas motores de 2065.	57
Tabla 12-15. Resumen inversión motores.	58
Tabla 12-16. Datos eficiencia motores 328 horas.	58
Tabla 12-17. Propuesta motores 328 horas.	58
Tabla 12-18. Resumen inversión motores 328 horas.	58

Tabla 12-19. Características el módulo.	61
Tabla 12-20. Características inversor.	62
Tabla 12-21. Características Combiner box.	63
Tabla 12-22. Características cable P-Sun.	64
Tabla 12-23. Características del fusible gVP.	64
Tabla 12-24. Características interruptor-seccionador.	65
Tabla 12-25. Características del varistor DG M YPV.	66
Tabla 12-26. Características interruptor magnetotérmico.	66
Tabla 12-27. Cálculo ahorro estimado por instalación fotovoltaica.	70
Tabla 12-28. Presupuesto simplificado para la instalación fotovoltaica.	70
Tabla 12-29. Flujos de caja planta fotovoltaica.	71

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1. Estructura de consumo de energía primaria España 2017. Fuente IDEA	4
Ilustración 1-2. Estructura del consumo de energía final España 2017. Fuente IDAE.	4
Ilustración 1-3. Estructura sectorial del consumo de energía final España 2017. Fuente IDAE.	5
Ilustración 1-4. Evolución del precio medio del barril de crudo Brent en la última década. Fuente plataforma Statista.	5
Ilustración 1-5. Precio medio del MWh en España en la última década. Fuente OMIE.	6
Ilustración 2-1. Plano de vista en planta de las instalaciones. Fuente: Empresa auditada	6
Ilustración 2-2. Ejemplo concentrador de mostos.	7
Ilustración 2-3. Ejemplo pasteurizador.	8
Ilustración 3-1. Datos producción concentrador dos últimos años	10
Ilustración 3-2. Datos producción pasteurizador pequeño dos últimos años	10
Ilustración 3-3. Datos producción pasteurizador grande dos últimos años	11
Ilustración 4-1. Porcentaje representativo del consumo de energía respecto al total.	14
Ilustración 4-2. Distribución de los distintos periodos en tarifas 6.X	14
Ilustración 4-3. Consumo mensual de los últimos dos años.	16
Ilustración 4-4. Datos del maxímetro para los años 2018 y 2019	17
Ilustración 4-5. Coste de la energía por conceptos de facturación en un año natural (IVA incluido)	18
Ilustración 4-6. Reparto de costes de energía eléctrica en un año natural	18
Ilustración 4-7. Consumo de energía eléctrica por periodo	19
Ilustración 4-8. Potencia instalada por tipo de uso	19
Ilustración 4-9. Gráfica consumo mensual gas natural	20
Ilustración 4-10. Coste mensual por concepto de facturación en un año natural.	21
Ilustración 4-11. Reparto de costes anual en la tarifa de gas natural	22
Ilustración 5-1. Análisis sensibilidad tarifa 6 periodos	24
Ilustración 5-2. Comparativa de tarifas eléctricas	25
Ilustración 6-1. Inventario iluminacion	28
Ilustración 7-1. Tuberías del circuito de frio.	33
Ilustración 7-2. Enfriadora.	33
Ilustración 7-3. Tuberias con aislamiento deteriorado	33
Ilustración 8-1. Tuberías conducción del vapor.	36
Ilustración 8-2. Caldera de vapor.	36
Ilustración 9-1. Rendimiento de los motores según su clasificación de eficiencia.	40
Ilustración 10-1. Ilustración de la ubicación elegida. Fuente: Google Earth.	44
Ilustración 12-1. Parámetros tubería.	52
Ilustración 12-2. Simplificación del cálculo transmisión calor.	52
Ilustración 12-3. Orientación módulos y perdida con respecto al óptimo. Fuente: Software PVsyst.	59
Ilustración 12-4. Situación módulos en nave principal.	60

Ilustración 12-5. Situación módulos en almacén y oficinas.	60
Ilustración 12-6. Vista y medidas del módulo fotovoltaico.	61
Ilustración 12-7. Vista del inversor.	62
Ilustración 12-8. Fotografía de la combiner box.	63
Ilustración 12-9. Fotografía cable P-Sun.	63
Ilustración 12-10. Fusible gVP.	64
Ilustración 12-11. Fotografía interruptor-seccionador.	65
Ilustración 12-12. Fotografía Varistor DG M YPN.	65
Ilustración 12-13. Fotografía del interruptor magnetotérmico.	66
Ilustración 12-14. Esquema unifilar de la planta.	69
Ilustración 12-15. Datos radiación por software PVsyst. Fuente: Meteornorm.	69

Notación

K_i	Coefficiente multiplicador de cada periodo
A_{ei}	Ecuación de la raíz del sumatorio de potencias demandada menos contratada
P_{dj}	Potencia demandada en cada uno de los tramos cuartohorarios del periodo “j”
P_{ci}	Potencia contratada en el periodo “i” considerado
Q	Calor transferido
R_{cvi}	Resistencia convectiva interior
R_{cve}	Resistencia convectiva exterior
R_{cd}	Resistencia conducción
R_2	Radio exterior
R_1	Radio interior
T_e	Temperatura exterior
T_i	Temperatura interior
FP	Facturación potencia
t_{pi}	Precio anual del término de potencia del período tarifario “i”
P_{fi}	Potencia a facturar en el periodo tarifario “i”
P_{dj}	Potencia demandada en cada uno de los cuatos de hora del periodo “i” en el que se haya sobrepasado P_{ci}
P_{ci}	Potencia contratada en el periodo “i” considerado

1 INTRODUCCIÓN

Para ser humilde se necesita grandeza.

- Ernesto Sábato -

La mayor demanda energética de tendencia ascendente de los últimos años, ha sido uno de los aspectos más importante en el desarrollo de toda la sociedad. Esto hace que se planteen muchos escenarios donde el agotamiento de los recursos es inminente y, por lo tanto, el uso adecuado de la energía también lo sea.

1.1 Definición y antecedentes

Generalmente se define la auditoría energética como el procedimiento de estudio y análisis de los flujos de energía de un sistema para obtener un conocimiento del recurso energético en la instalación. Esto hace que se identifiquen las posibilidades de ahorro energético y, por lo tanto, económico haciendo como objetivo fundamental mejoras medioambientales.

Con el fin de reducir la demanda energética que aún sigue siendo muy dependiente de los combustibles fósiles, con la respectiva contaminación que estos conllevan, los principales países encabezados por Europa, plantearon una serie de medidas para promover el ahorro de energía.

En concreto, los estados miembros de la UE se comprometieron a reducir el consumo de energía primaria en un 20 % para el 2020. Esto hace que las auditorías energéticas tengan un gran peso a la hora de poder lograr dicho objetivo.

Como podemos ver en los informes del IDAE, para la estructura de consumo de energía final en España sigue teniendo un peso importante el petróleo.

Estructura de consumo energía primaria

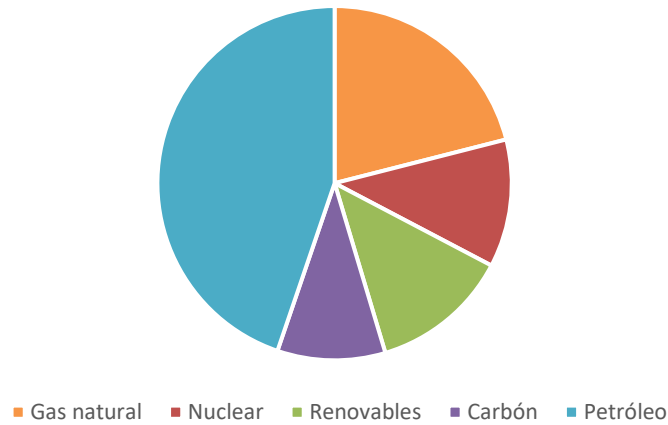


Ilustración 1-1. Estructura de consumo de energía primaria España 2017. Fuente IDAE

Estructura de consumo energía final

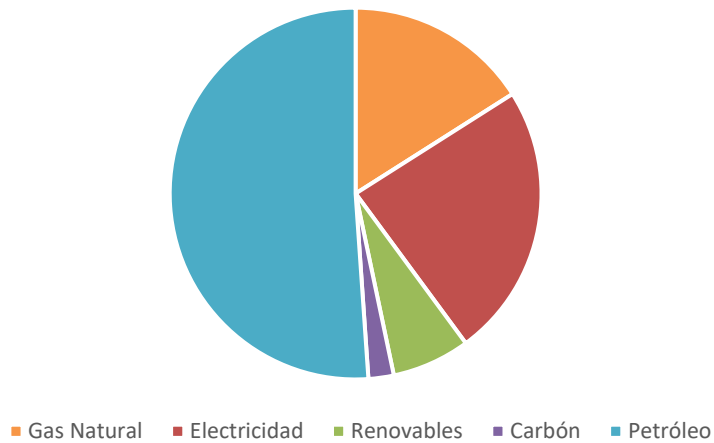


Ilustración 1-2. Estructura del consumo de energía final España 2017. Fuente IDAE.

Como podemos observar en la siguiente imagen, la industria es el segundo sector que más consume después del transporte.

Esto hace que la auditoría energética tenga especial importancia en estos días.

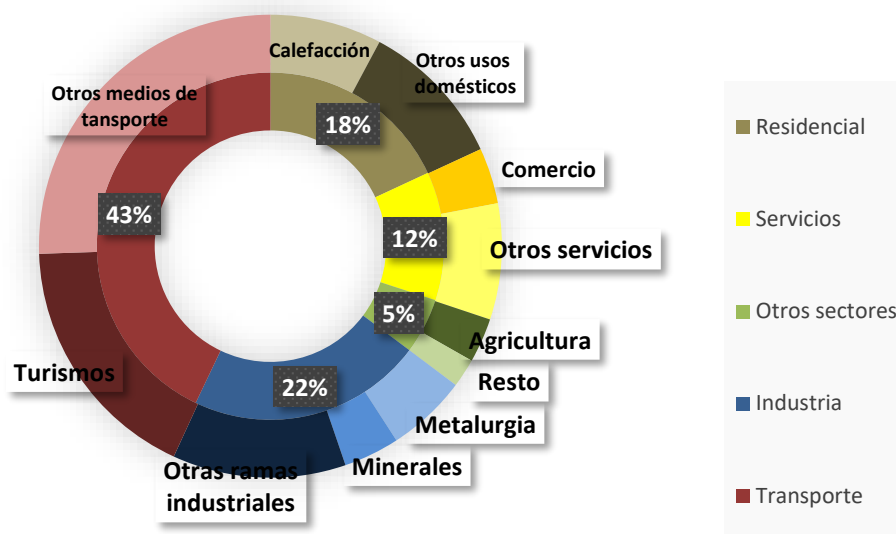


Ilustración 1-3. Estructura sectorial del consumo de energía final España 2017. Fuente IDAE.

Como vemos, la dependencia del petróleo en España es muy significativa aún y como observamos en la siguiente gráfica, la tendencia del precio (aunque con fluctuaciones), estará de nuevo al alza.

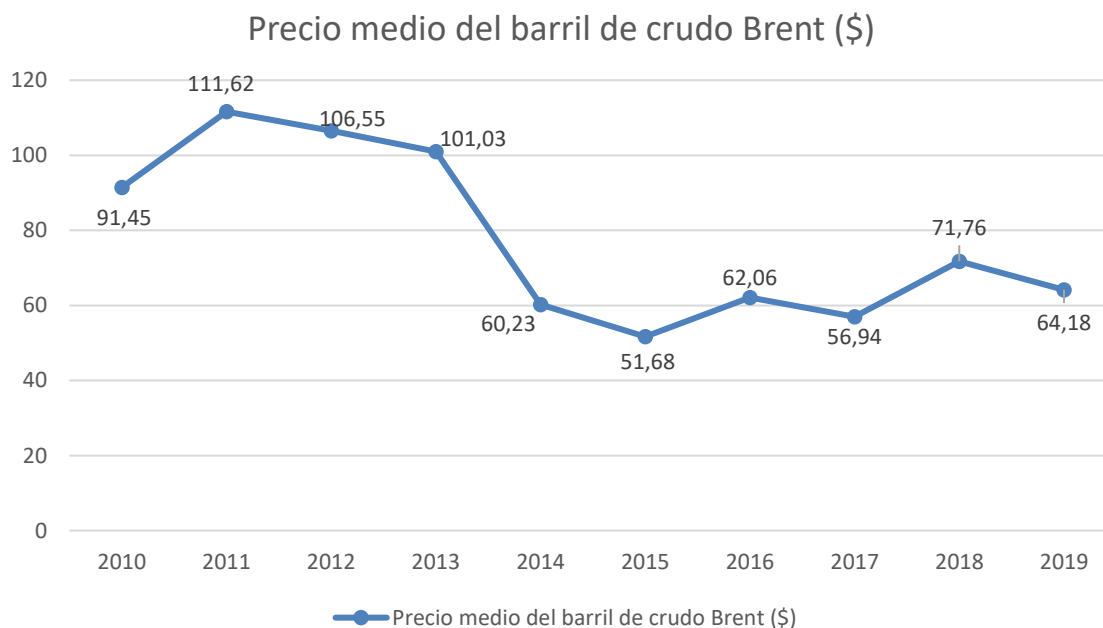


Ilustración 1-4. Evolución del precio medio del barril de crudo Brent en la última década. Fuente plataforma Statista.

Esto a su vez está ligado al precio de la energía como hemos visto en las ilustraciones anteriores. En la última década podemos observar lo siguiente.

Precio medio del MWh en España (€)

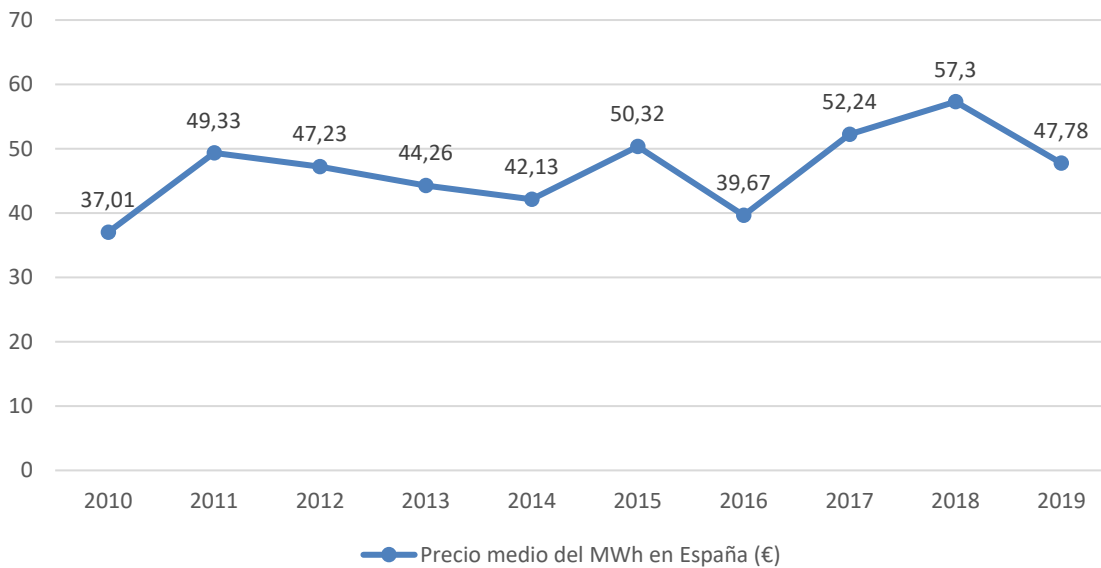


Ilustración 1-5. Precio medio del MWh en España en la última década.
Fuente OMIE.

Es por todo lo descrito anteriormente que en 2016 en España es obligatorio la realización de una auditoría energética con las condiciones que exige el Real decreto 56/2016.

Las empresas afectadas en esta medida son las compañías con más de 250 trabajadores o aquellas que cuentan con menos empleados pero superan los 50 millones de euros en volumen de negocios.

Las principales ventajas de realizar una auditoría se pueden resumir en:

- Informe detallado de todos los procesos energéticos que afectan a la empresa. Esto hace que se puedan crear soluciones que están a mano para la reducción inmediata del consumo de energía.
- Planteamiento de medidas de mejora que requerirán una inversión inicial, pero que en un periodo especificado darán beneficios contables a la empresa.
- Alternativas para reducir el consumo de energía (y por tanto el gasto) lo más actualizadas posibles y con rapidez.

Aun así, este proceso también contempla una serie de desventajas:

- Rechazo al cambio de un sistema establecido en la empresa durante muchos años por parte de los trabajadores.
- Inversión inicial a veces alta, produciendo la negativa de los dirigentes de la empresa.
- Desconocimiento de las expectativas del cliente y soluciones no aptas para el sector de la empresa en cuestión.

Por todo lo descrito anteriormente, es y será muy necesario la realización de auditorías energéticas en el entorno industrial. En este proyecto, se realizará una auditoría a las instalaciones de una cooperativa del sector agrario en Ciudad Real, con el objetivo primordial del ahorro energético y económico en el menor tiempo posible. Para ello se darán una serie de propuestas de mejora que se citarán al final de éste.

2 DATOS GENERALES DE LA INSTALACIÓN

*Si das pescado a un hombre hambriento lo nutres
durante una jornada. Si le enseñas a pescar, le nutrirás
toda la vida*
-Lao Tsé-

En este apartado, se analizarán los datos más relevantes de la empresa a auditar, como pueden ser la localización, la descripción de las instalaciones y sus principales instalaciones consumidoras de energía.

2.1. Datos generales

La industria en cuestión está situada en la provincia de Ciudad Real. Se trata de una cooperativa dedicada al sector vitivinícola y es una de las empresas más grandes en este sector, luego la producción de mostos es elevada.

2.2. Descripción de las instalaciones

Como se ha comentado en el apartado anterior, la actividad de la cooperativa consiste fundamentalmente en la producción de mosto, tanto concentrado como rectificado.

Para la realización de estos procesos, la cooperativa cuenta con unas instalaciones de producción con una nave en la que se encuentra el concentrador y el rectificador, de unos 2.000 metros cuadrados, y que se incluye también la zona de pasteurización y envasado de mosto en bidones. Además, en esta zona se encuentra una nave de frío, en la que se conserva el mosto a reducida temperatura (cuando así lo requiere la producción).

En el exterior se dispone de una zona de almacenamiento en depósitos de las materias primas, tal y como se observa en el siguiente plano proporcionado:

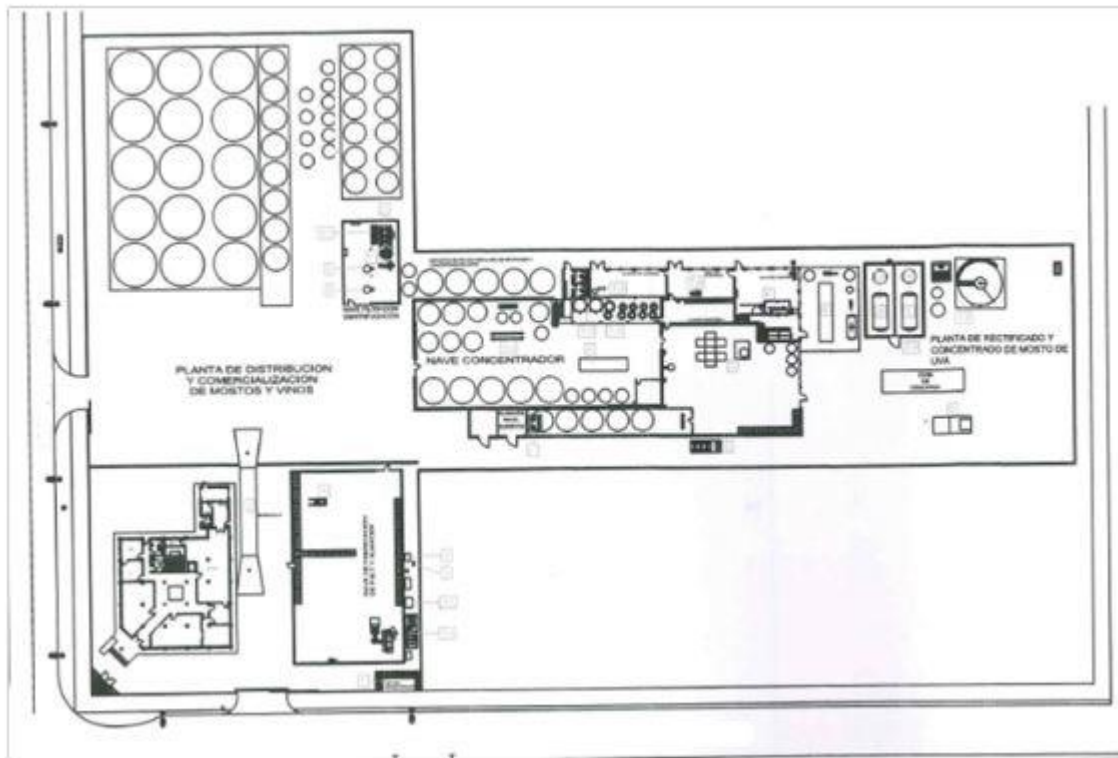


Ilustración 2-1. Plano de vista en planta de las instalaciones. Fuente: Empresa auditada

2.3. Instalaciones consumidoras de energía

Cabe mencionar, que la industria cuenta con una canalización de gas natural que será utilizado en la producción por la maquinaria (pasteurizadores y concentrador), y que por lo tanto se suma al consumo de energía eléctrica.

Para este último tipo de consumo se encuentran las siguientes instalaciones:

- Iluminación
- Climatización
- Frío industrial
- Aire comprimido

Para la instalación de gas natural la única consumidora es la caldera de vapor.

Además, para analizar mejor el consumo de energía se detallaron los horarios de funcionamiento de cada actividad:

- Oficinas: de 9:00 a 14:00 y de 16:00 a 19:00
- Producción: de 6:00 a 14:00 y de 14:00 a 22:00

Como se ha mencionado en el primer párrafo, la maquinaria para la producción del mosto, consume principalmente gas natural, por lo tanto, debemos de conocer qué son y cómo funcionan para poder establecer medidas de ahorro.

- Concentrador. Es la principal fuente consumidora de vapor, aunque varía según la cosecha y la producción, se consumen más de tres cuartas partes de la generación de la caldera.

Su principal función es eliminar parte del agua del mosto, para que aumente la concentración de azúcar del mismo, incrementando así el potencial alcohólico hasta el valor deseado.

Por lo general, los mostos de entrada se encuentran entre 0 °C y 25 °C y a través de intercambiadores (generalmente de placas) eliminan el agua a baja temperatura de calentamiento (35- 40 °C).

- Pasteurizador. Durante el proceso, es el encargado de elevar el tratamiento térmico por encima de los 80 °C durante un corto periodo de tiempo para eliminar todas las formas microbianas, enzimas y bacterias que pueda contener el mosto aún. Tiene al igual que el concentrador un intercambiador de placas ya que es el que proporciona la mayor cercanía de temperatura para estos usos. Además, el producto necesita una pasteurización adecuada según el proceso, haciendo necesario un control mediante PLC (Programmable Logic Controller o Controlador Lógico Programable), para que el equipo funcione mediante programación automática según las necesidades de control del proceso.

Para ambos equipos no se han hecho fotografías claras para cada maquinaria, pero siguen exactamente la misma semejanza que las ilustraciones de a continuación, aunque a mayor escala.



Ilustración 2-2. Ejemplo concentrador de mostos.



Ilustración 2-3. Ejemplo pasteurizador.

3 ANÁLISIS DE ACTIVIDADES

El día más desaprovechado de todos es aquel en el que no nos hemos reído.

-Nicolas-Sébastien Roch -

Los datos proporcionados del proceso productivo son muy útiles para no perder el orden de magnitud cuando el consumo de energía es variado. Esto es así ya que, al tratarse de una empresa del sector agrario, la producción y por ende el mercado, cambia año tras año, haciendo que el consumo de energía varíe también.

3.1 Descripción de la actividad

Es necesario conocer el proceso productivo llevado a cabo en la planta para ofrecer todas las medidas de mejora necesarias. En esta cooperativa se producen las siguientes fases:

- Recepción y almacenaje de materias primas.
- Clarificación y filtración
- Rectificación o desmineralización de mostos, donde se eliminan una serie de sustancias, como proteínas, mediante el paso de dicho mosto por unas resinas.
- Concentración de mostos, consiste básicamente en reducir su contenido de humedad, aumentando por tanto su concentración de azúcares y demás componentes.
- Refrigeración de mostos.
- Almacenamiento de mosto concentrado.
- Envasado de mostos en bidones.

3.2 Datos de producción

A continuación, se muestran los datos de producción proporcionados por la empresa, de los 3 grandes procesos de la instalación, como son la producción del concentrador, del pasteurizador pequeño y del pasteurizador grande. Las cifras proporcionadas no están completas a los 24 meses, pero posteriormente se hará una estimación.

Producción concentrador

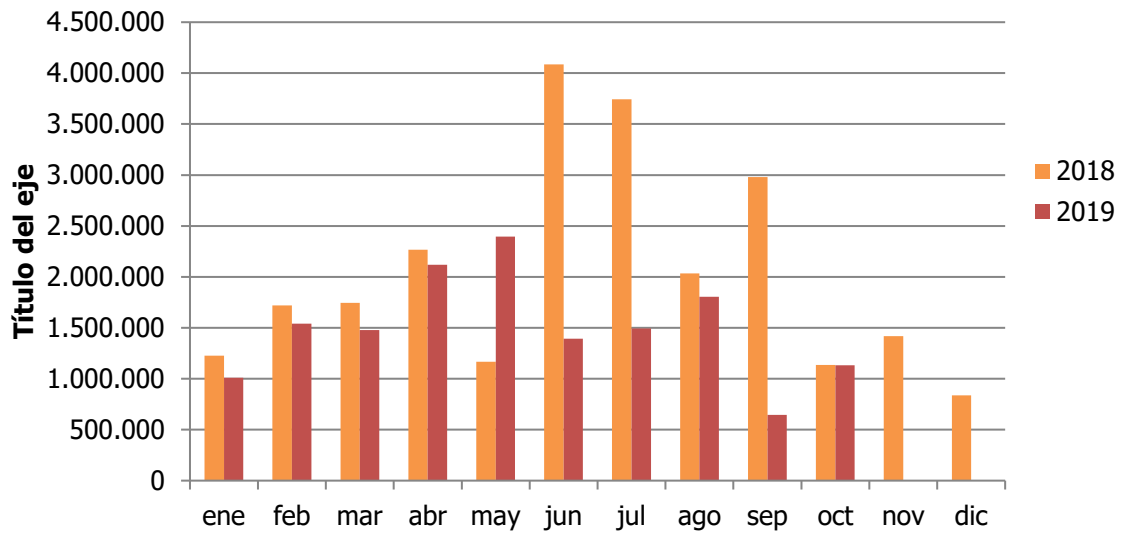


Ilustración 3-1. Datos producción concentrador dos últimos años

Producción pasteurizador pequeño

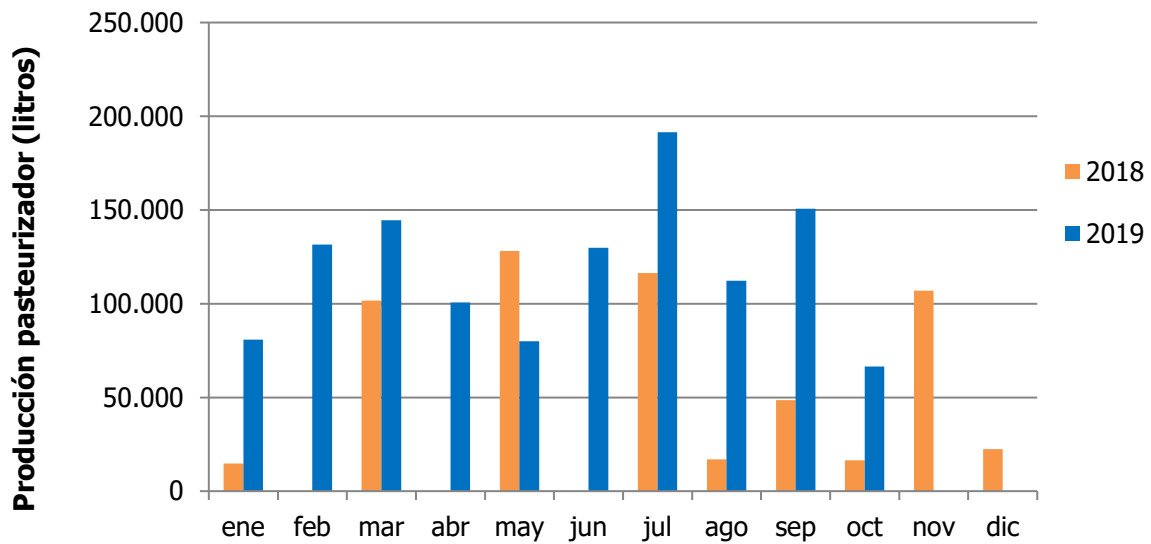


Ilustración 3-2. Datos producción pasteurizador pequeño dos últimos años

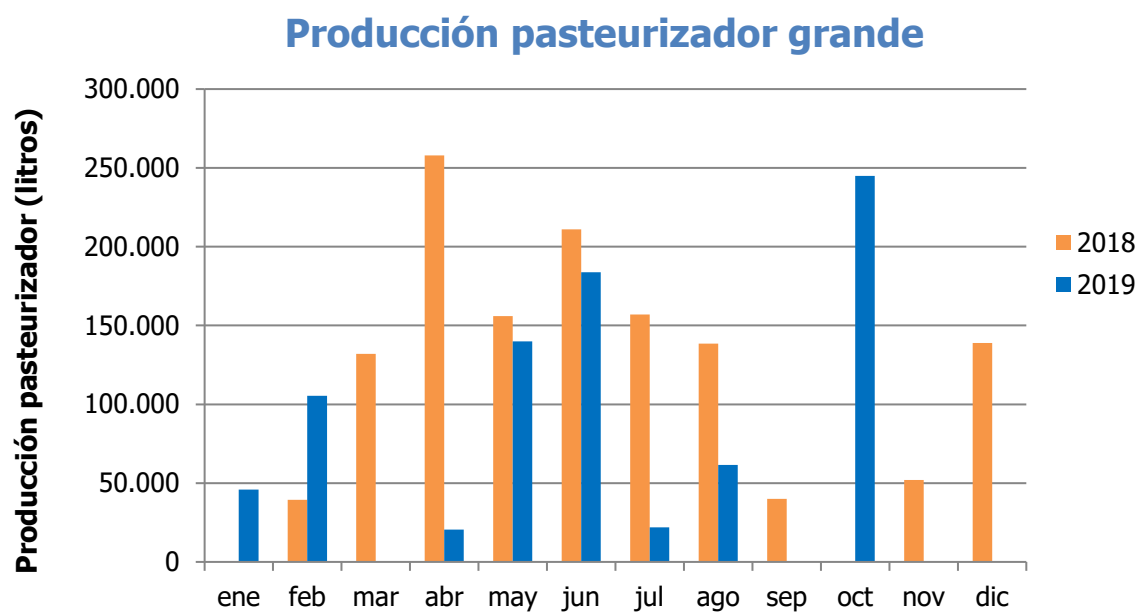


Ilustración 3-3. Datos producción pasteurizador grande dos últimos años

A continuación se resumen los datos anuales de producción:

Año	Concentrador (litros)	Pasteurizador pequeño (litros)	Pasteurizador grande (litros)
2018	24.375.000	572.300	1.323.000
2019	15.006.100 ²	1.188.100 ²	824.200 ¹

Tabla 3-1. Tabla resumen de datos de producción

¹ Cabe destacar que en la producción de 2019 sólo se comprenden los primeros 9 meses.

4 ANÁLISIS ENERGÉTICO

The fundamental problem of communication is that of reproducing at one point either exactly or approximately a message selected at another point.

Claude Shannon, 1948

En este capítulo se encuentra el corazón de la auditoría, ya que se tras los apartados de recogida de información solicitada a la empresa, se comienza un análisis más en profundidad de todo lo que relaciona el consumo de energía para esta instalación, desde un análisis más general del consumo de energía eléctrica y gas natural, hasta uno más detallado que pase por un inventario de potencia y análisis te máxímetros.

4.1 Introducción

Para el funcionamiento y desarrollo de la actividad en estas instalaciones se utilizan fuentes de energía eléctrica y térmica. A continuación, se detallan estos tipos de energía y el consumo asociado a cada uno de ellos, para el periodo comprendido entre septiembre de 2018 y septiembre de 2019².

	Consumo de energía final (kWh/año)	Consumo de energía primaria (tep/año)	Emisiones de CO ₂ (tCO ₂ /año)	Coste anual (€/año)
Energía eléctrica	604.346	125	200	81.041
Gas Natural	6.324.219	650	1.594	210.699
Total	6.928.565	775	1.794	291.740

Tabla 4-1. Resumen consumo energía anual por tipo³.

Ilustrativamente, se ha incluido en el siguiente gráfico el porcentaje que representa cada una de las fuentes respecto al total de consumo energético:

² El resumen de datos expuesto en la tabla se ha realizado mediante

³ Según factores de emisión y coeficientes de paso del documento del ministerio de industria, energía y turismo e IDAE de 2014

Consumo energía final

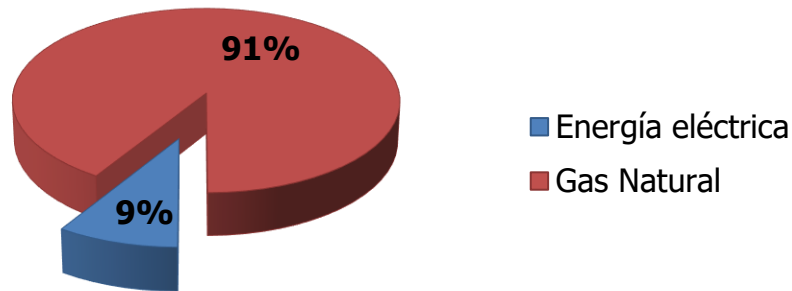


Ilustración 4-1. Porcentaje representativo del consumo de energía respecto al total.

4.2 Energía eléctrica

4.2.1 Información de contrato y tarifa.

La tarifa a la que está sujeto la empresa en cuestión, consta de 6 periodos que como se verán en la tabla posterior, siguen el mismo patrón anualmente. Se aplica a cualquier suministro en tensiones comprendidas entre 1 y 36 kV.

	0_1	1_2	2_3	3_4	4_5	5_6	6_7	7_8	8_9	9_10	10_11	11_12	12_13	13_14	14_15	15_16	16_17	17_18	18_19	19_20	20_21	21_22	22_23	23_24
Enero	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Febrero	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Marzo	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Abril	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Mayo	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
1ª Quincena Junio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
2ª Quincena Junio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Julio	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Agosto, Sab, Dom y Festivos Nacionales	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
Septiembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
Octubre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Noviembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Diciembre	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2

Ilustración 4-2. Distribución de los distintos periodos en tarifas 6.X

Para cada periodo de las tarifas⁴, existe una parte correspondiente al término de energía, cuyo coste puede cambiar y depende de los kWh consumidos, y el término de potencia, cuyo importe es fijo a lo largo del año y

⁴ Tanto para tarifas reguladas como de mercado libre.

tiene un precio fijado en cada periodo, que va multiplicado a los kW contratados y/o facturados.

A continuación, se detallan las características del contrato de este punto de suministro eléctrico:

Tipo de Contrato	6.1 A
Potencia contratada	P1: 210 kW; P2: 210 kW; P3: 210 kW; P4: 210 kW; P5: 255 kW; P6: 651 kW
Comercializadora	Gas Natural Comercializadora S.A.
Tarifa	Precio Fijo

Tabla 4-2. Información sobre la tarifa eléctrica⁵

Además, los precios de los que se compone dicha tarifa son:

	Término de potencia (€/kW año)	Término de energía (€/kWh)
P1	39,139428	0,107020
P2	19,586652	0,091115
P3	14,334180	0,080541
P4	14,334180	0,073337
P5	14,334180	0,066733
P6	6,54018	0,059120

Tabla 4-3. Precio de la tarifa 2019⁶

Aunque se trate de una tarifa a precio fijo, al tratarse de un consumo mayor a 10 kW, por normativa, solo es posible contratar una tarifa en el mercado libre, donde cada comercializadora establece un precio de venta de energía pactado previamente con el cliente.

Aun así, el BOE⁷ establece anualmente el precio por potencia para cada periodo y tarifa y un precio orientativo de venta de energía, que se puede ver modificado por el mercado diario y/o pactado por cada cliente con la comercializadora.

⁵ No se ha insertado el precio de penalización por exceso de energía reactiva ya que nunca se ha producido.

⁶ Precios referidos al año 2019, tal y como recoge el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).

⁷ BOE (Boletín Oficial del Estado)

4.2.2 Consumo de energía eléctrica

A continuación, se adjuntan diferentes gráficas que representan el consumo eléctrico total a lo largo de los dos últimos años, analizado mes a mes, extrayendo los datos facturados.

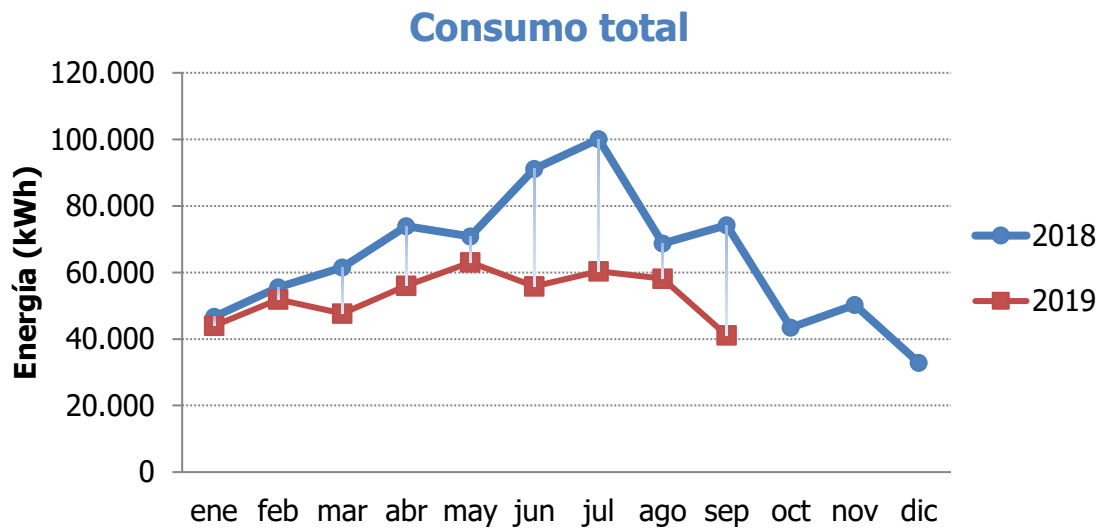


Ilustración 4-3. Consumo mensual de los últimos dos años.

En su totalidad se contemplan unos 769.134 kWh consumidos en el año 2018, mientras que, en 2019 hasta la fecha de septiembre, se han consumido 522.870.

Esta tendencia de consumo inferior se debe principalmente a una producción de mosto inferior en el pasado año.

4.2.3 Análisis de máxímetros

Del siguiente análisis de máxímetros se deduce la potencia máxima alcanzada en relación a la contratada. Tomando esto como referente, en posteriores apartados se llevará a cabo un estudio de optimización de potencia contratada.

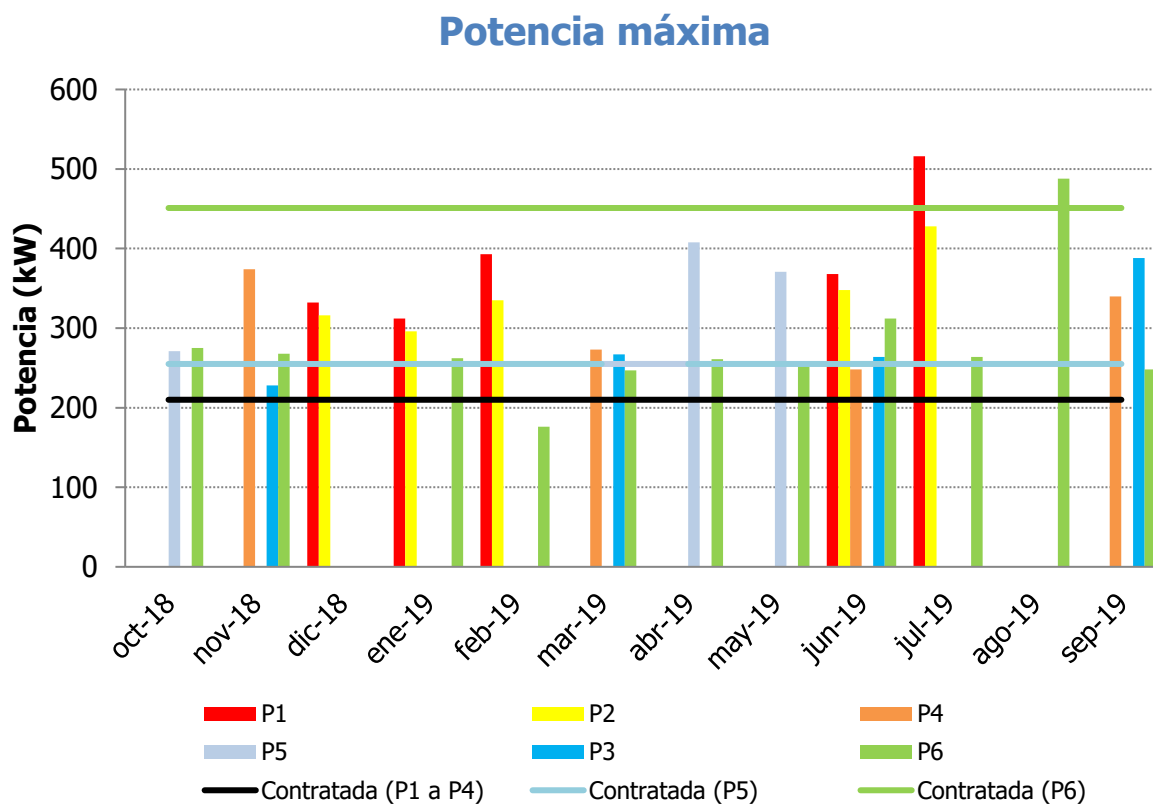


Ilustración 4-4. Datos del máxímetro para los años 2018 y 2019

Los excesos de potencia de mayor relevancia se producen en los meses de verano, destacando los correspondientes a junio y julio en periodos P1 y P2.

4.2.4 Costes de la energía

El coste de la energía eléctrica se ha desglosado para el periodo de análisis, desde octubre de 2018 hasta septiembre de 2019, es decir, un año natural.

Se han analizado los diferentes conceptos de facturación en el gráfico siguiente⁸.

⁸ No se ha incluido la penalización por energía reactiva debido a que su valor fue nulo.

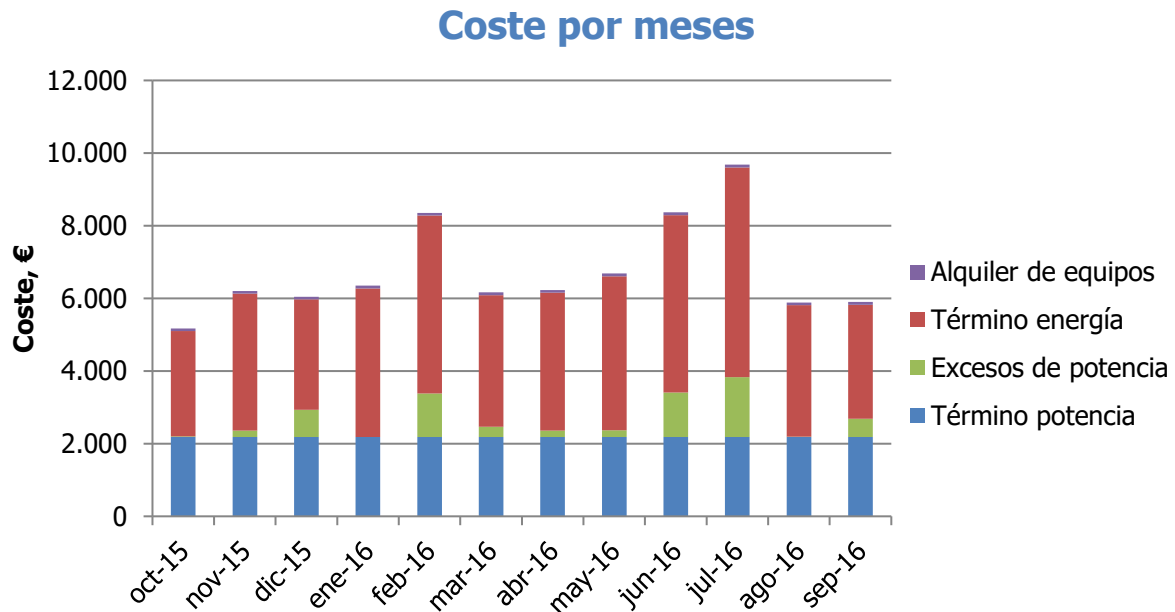


Ilustración 4-5. Coste de la energía por conceptos de facturación en un año natural (IVA incluido)

Para más información, se desglosa el coste total en los diferentes periodos tarifarios.

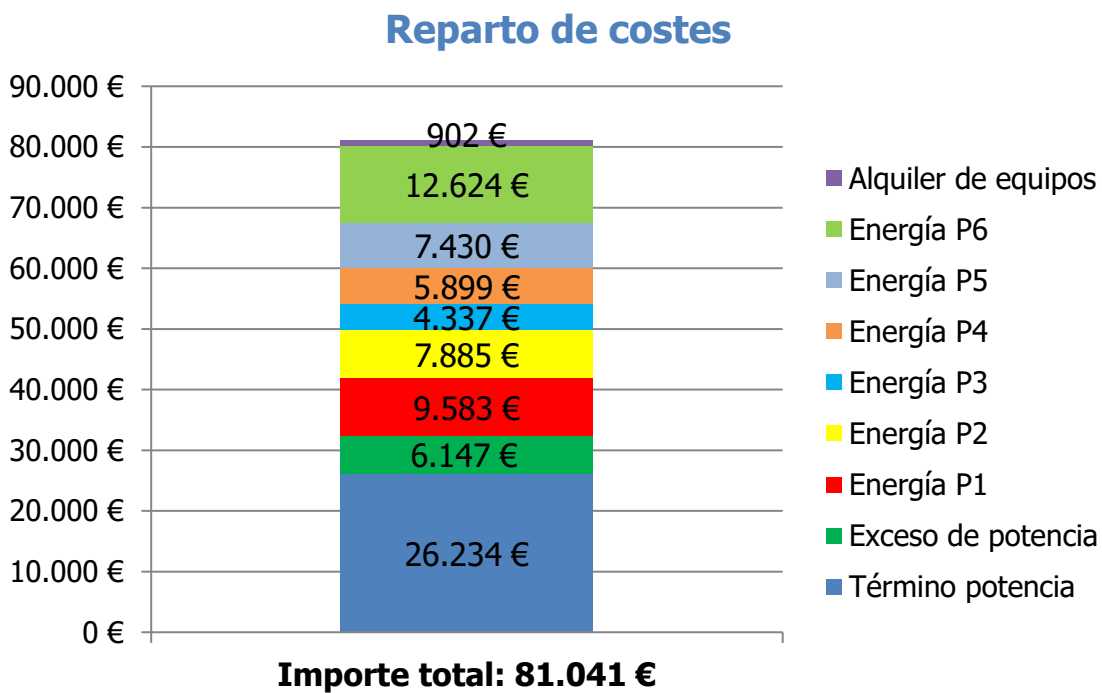


Ilustración 4-6. Reparto de costes de energía eléctrica en un año natural

Aquí, se puede observar que:

- El 32 % del coste total de la energía eléctrica corresponde al término de potencia.
- El 16 % del coste de energía eléctrica se centra en el periodo P6.
- Los excesos de potencia representan el 8% del coste total.

4.2.5 Consumo por periodos

El reparto de consumo de energía eléctrica por periodo tarifario se muestra a continuación, en forma de porcentajes del acumulado anual:

Consumo energía eléctrica por periodo MWh/año

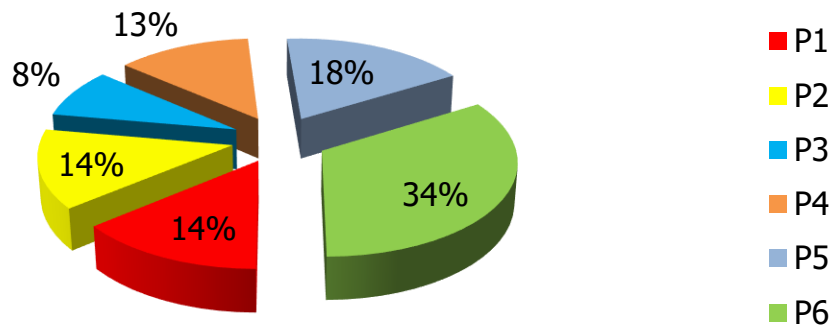


Ilustración 4-7. Consumo de energía eléctrica por periodo

4.2.6 Inventario de potencia instalada

A consinuación, se mostrará un gráfico de barras donde se puede observar la potencia instalada por tipo de uso en toda la cooperativa, sumando un total de 1.115 kW.

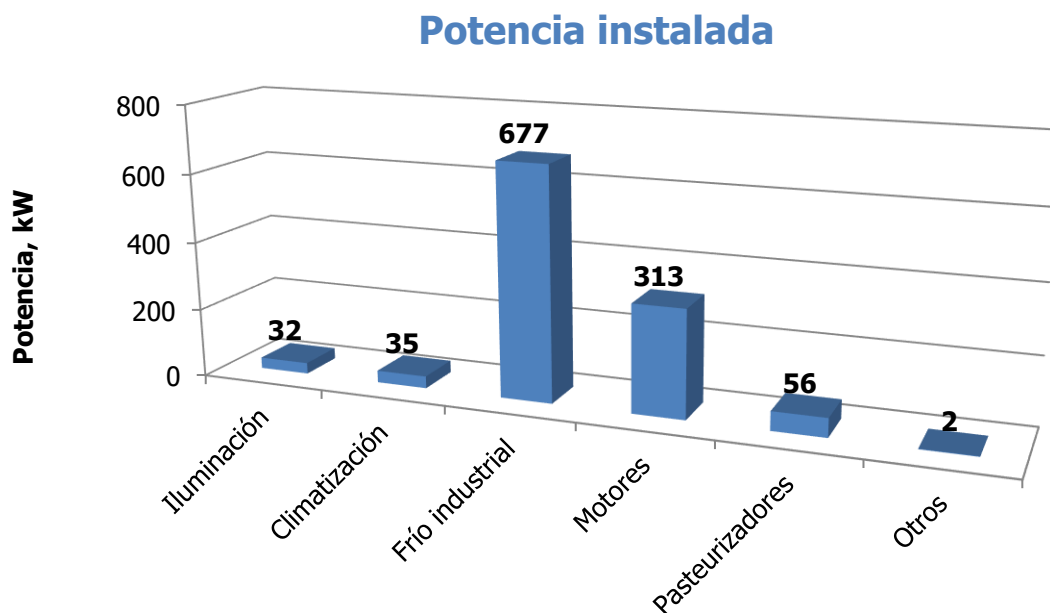


Ilustración 4-8. Potencia instalada por tipo de uso

Como podemos observar, más del 60 % de la potencia instalada está destinada a la generación de frío industrial y cámaras frigoríficas.

El inventario detallado de equipos se encuentra en el Anexo I.

4.3 Gas natural

4.3.1 Información de contrato y tarifa

A continuación, se detallan las características del contrato del suministro de gas natural:

Término	Precio (€/kWh)
Precio término fijo	0,089718
Precio término variable	0,024894
Impuesto hidrocarburos	0,00054

Tabla 4-4. Precio por términos de la tarifa de gas natural

4.3.2 Consumo de gas natural

Se adjuntan diferentes gráficas que representan el consumo de gas natural a lo largo del año y el perfil de consumo medio mensual.

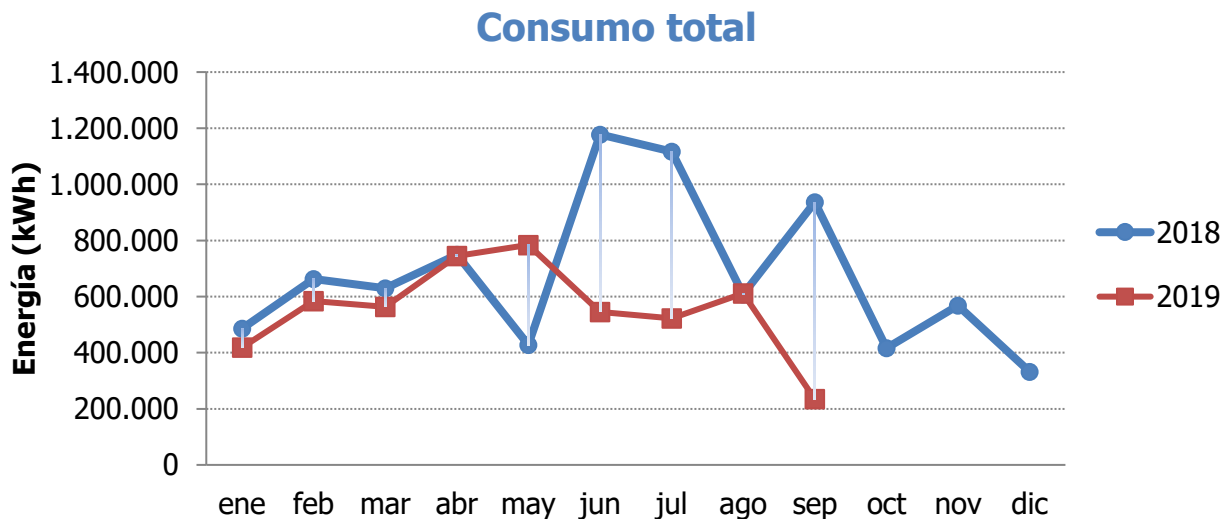


Ilustración 4-9. Gráfica consumo mensual gas natural

En su totalidad se contemplaron 8.110.148 kWh consumidos en 2018 y 5.008.070 kWh en los primeros nueve meses de 2019. Es muy significativa la diferencia de consumo en los meses de junio y julio en tan solo un año ya que es debida a la cosecha y demanda del pasado año en concreto, donde para el conjunto de los dos meses en 2018 se produjeron 7.830.500 litros entre mosto rectificado, blanco y tinto; mientras que en el año 2019 se produjeron 2.884.700 litros.

4.3.3 Costes de gas natural

El coste de gas natural se ha desglosado en los diferentes conceptos de facturación para el periodo de análisis de un año natural.

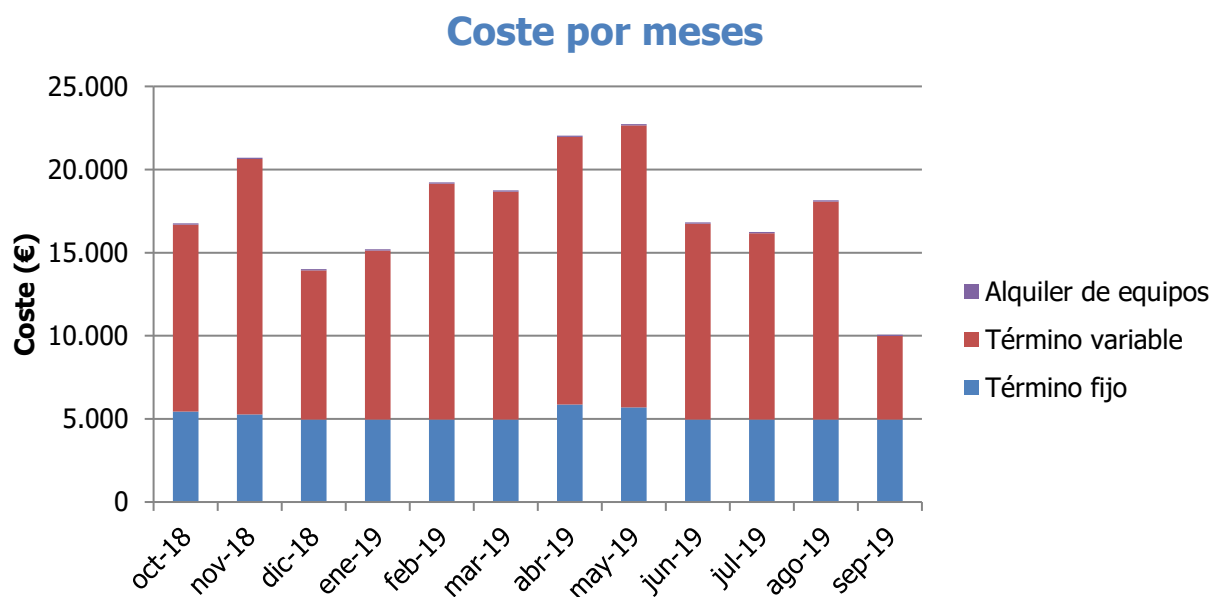


Ilustración 4-10. Coste mensual por concepto de facturación en un año natural.

En el siguiente gráfico se desglosa el coste total en los diferentes conceptos de facturación:

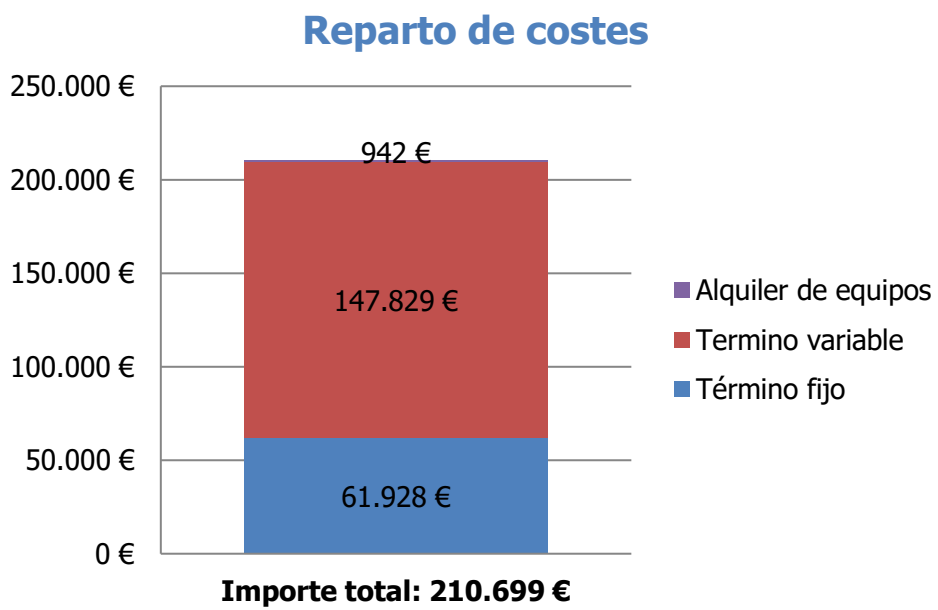


Ilustración 4-11. Reparto de costes anual en la tarifa de gas natural

Como se verá en el Anexo V, el único equipo consumidor de esta fuente de energía es una caldera de vapor de 3,35 MW, que abastece los equipos consumidores como el concentrador, los pasteurizadores y el esterilizador.

De estos equipos, prácticamente la totalidad del consumo de vapor se la lleva el concentrador, según datos de la empresa, llegando a más del 90%.

5 FACTURACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA

El mejor modo de predecir el future es inventándolo
-Alan Kay-

Para las tarifas de 6 periodos, el exceso de potencia, según normativa del Real Decreto 1164/2001, en caso de que la potencia demandada, sea mayor en cualquier periodo a la potencia contratada, se calculará según la fórmula establecida y que se desarrollará en este capítulo.

5.1 Introducción y optimización de potencia del contrato actual

Como se ha comentado en el párrafo anterior, la penalización debida al exceso de potencia vendrá calculada como:

$$F_{EP} = \sum_{i=1}^{i=6} k_i * 1,4064 * A_{ei}$$

Donde:

$$A_{ei} = \sqrt{\sum_{j=1}^{j=n} (P_{dj} - P_{ci})^2}$$

Por lo tanto, para la optimización de la potencia contratada, se ha realizado un estudio de sensibilidad, con los perfiles de consumo disponibles, para obtener la potencia necesaria en cada periodo de la tarifa eléctrica que minimice el coste energético anual.

Haciendo un análisis de sensibilidad, se muestra a continuación una gráfica donde se observa la potencia que minimizaría el coste anual del término de potencia:

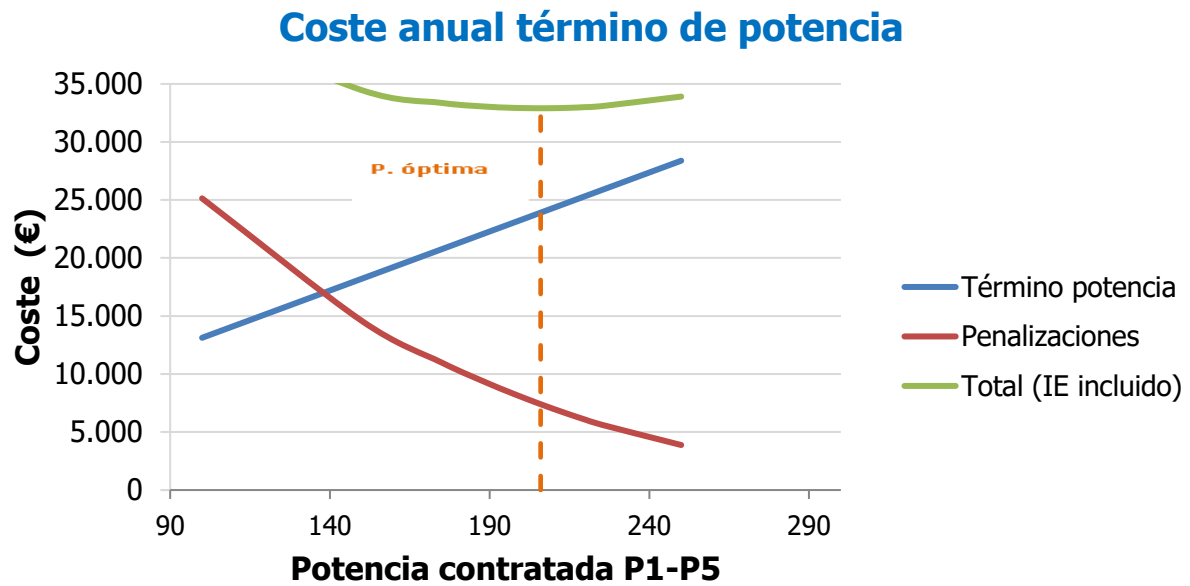


Ilustración 5-1. Análisis sensibilidad tarifa 6 periodos

La potencia contratada actualmente es muy cercana a la óptima, pudiendo disminuirse ligeramente para obtener un mejor ajuste y un pequeño ahorro.

La potencia óptima propuesta será de 206 kW para los periodos 1 al 5 y 451 kW para el último periodo.

Para este análisis, se ha tenido en cuenta los excesos de potencia del año que más producción de mosto han tenido, por lo tanto, el ahorro estimado en este caso sería:

	Actual (P1-P4: 210 kW, P5: 255 kW, P6: 451 kW)	Propuesta (P1-P5: 206 kW, P6: 451 kW)	Ahorro anual
Coste anual del término de potencia	33.588 €	32.903 €	685 € (2,4 %)

Tabla 5-1. Propuesta de mejora potencia contratada⁹.

5.2 Comparativa de contratos 3.1 y 6.1

Dadas las características de este suministro eléctrico se propone valorar la contratación de una tarifa en tres periodos 3.1 A, en lugar de la tarifa 6.1 A. Para valorar el tipo de contrato con menor coste se ha calculado el coste de la nueva tarifa manteniendo los mismos consumos y escogiendo la misma potencia.

Haciendo una comparativa observamos lo siguiente:

⁹ Esta propuesta no tiene coste de implantación ya que al contratar una potencia menor a la ya establecida no requiere de coste adicional.

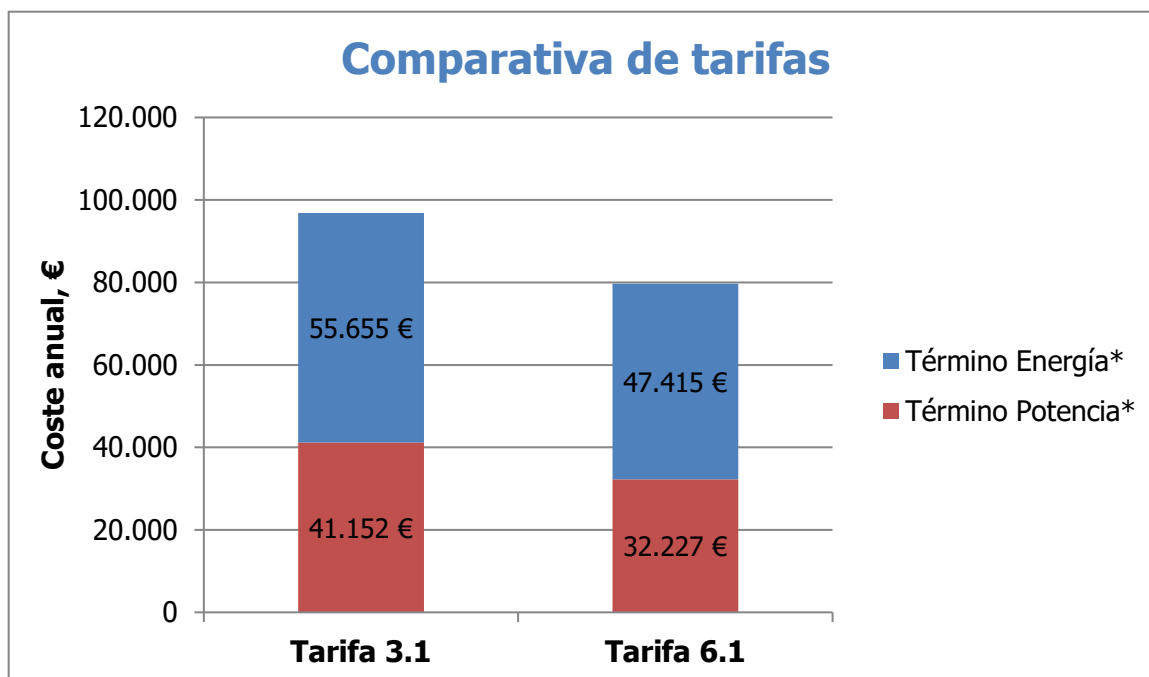


Ilustración 5-2. Comparativa de tarifas eléctricas

Según los datos analizados, la tarifa 3.1 A representa un coste entorno a 8.900€ superior al de a tarifa 6.1 A en cuanto al término de potencia. Respecto al término de energía, el coste para la tarifa 3.1 supera también al coste de la otra tarifa en unos 8.200 €.

En total, la tarifa 6.1 A es más económica que la propuesta en unos 17.166 €.

6 MEDIDAS DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN

En la vida hay algo peor que el fracaso: el no haber intentado nada
-Leonid S. Sukhorukov-

Aunque la potencia instalada en iluminación sea mucho menor que otras áreas como el frío industrial, es la medida más rápida para ver mejoras en consumos.

6.1 Observaciones realizadas

En este apartado, se analizará toda la información proporcionada por la empresa en cuestión, se recogerán los aspectos más generales y posteriormente se propondrán las medidas de eficiencia energética más apropiadas.

6.1.1 Inventario iluminación

El inventario detallado por tipo de lámparas se ha decidido no añadir, ya que es bastante amplio. Sin embargo la siguiente tabla resume la potencia instalada por área:

Actividad	Potencia instalada (kW)				
	Campanas	Tubos Fluorescentes	Downlight	Proyectores	Otros
Oficinas			6,86		1,73
Producción	11,2	4,4		6	1,77
Total	11,2	4,4	6,86	6	3,5

Tabla 6-1. Inventario iluminación.

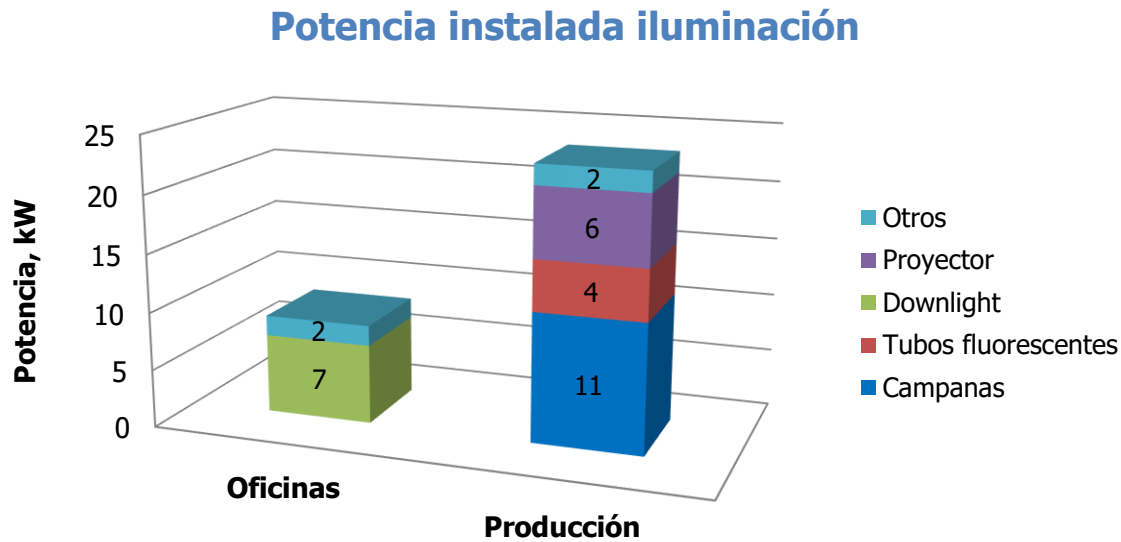


Ilustración 6-1. Inventario iluminación

6.1.2 Sistemas de control y regulación

Actualmente, el único sistema de regulación y control para el alumbrado existente, es el reloj para la iluminación exterior nocturna, realizándose la actuación del resto de circuitos de forma manual.

6.2 Análisis situación actual

Para la comprobación de los niveles de iluminación de las diferentes zonas detectadas con menor nivel de iluminación, se pidieron algunos ejemplos de mediones con luxómetros y un análisis de los datos obtenidos como se muestra a continuación:

Zona	Iluminación media (lux)	Normativa UNE-EN 12464-1
Nave filtración	23	100
Nave concentrador	108	100
Nave pasteurizador	52	100
Oficinas	459	500

Tabla 6-2. Nivel de iluminación media por áreas.

Como se puede comprobar, en las naves el nivel de iluminación está muy por debajo de la normativa y en oficinas ligeramente por debajo.

6.3 Medidas de mejora de eficiencia energética en iluminación

En este apartado se propone la sustitución de las luminarias existentes por equivalentes con tecnología LED. Esta solución presenta una mayor eficacia y permite mantener el mismo nivel de iluminación con un menor consumo de energía.

Las luminarias LED son altamente eficaces gracias a su sistema de disipación térmica que permite que operen a baja temperatura en relación a la luminosidad que proporcionan.

Las principales ventajas de la tecnología LED son:

- Reducción del consumo de energía eléctrica, hasta un 65 %.
- Larga vida útil, hasta 60.000 horas de funcionamiento.
- Disminución de los costes de mantenimiento y de reposición.
- Encendida y apagada instantánea.
- Regulables.
- En caso de caída de la red eléctrica, se pueden alimentar a través de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida gracias a su bajo consumo.
- Ofrecen un Índice de reproducción cromática (IRC) muy elevado, superior al 80 %. Luz blanca y uniforme.
- El flujo luminoso se puede dirigir de forma muy precisa minimizando la dispersión de la luz.
- Tecnología menos contaminante ya que los dispositivos LED no contienen mercurio.
- No emiten rayos ultra violeta.
- Menores emisiones de CO₂.

Las características principales de la situación actual y propuesta, se resumen a continuación:

Actual				Propuesta led			
	Potencia (W)	Lámparas	Potencia total (kW)		Potencia (W)	Lámparas	Potencia total (kW)
Fluorescente tubular T8	28	12	0,34	Tubos led	9	12	0,11
	58	70	4,06		24	70	1,68
Fluorescente compacta	26	17	0,44	Lámpara led	7	17	0,12
	20	1	0,02		5	1	0,01
Downlight	2x26	132	6,86	Downlight led	25	132	3,3
Bombilla incandescente	50	4	0,2	Bombilla led	5	4	0,02
Halógena Dicroica	50	29	1,45	Dicroica led	5	29	0,15
Halogenuro metálico	70	19	1,33	Farola globo	30	19	0,57
	250	24	6	Proyector led	30	19	3,6
	400	28	11,2	Campana led	150	24	4,2
Total			31,9				13,75

Tabla 6-3. Inventario y propuesta iluminación.

Con estas propuestas se conseguirá reducir el consumo energético de la instalación de iluminación en un 57%.

En el Anexo II se recoge el estudio de viabilidad de esta propuesta. A continuación, se adjunta el resumen del estudio:

	Inversión	Ahorro energético	Ahorro económico	Ahorro CO ₂	Retorno inversión
Propuesta Led	28.792 €	32.277 kWh/año	5.987 €/año	10,68	5 años

Tabla 6-4. Resumen propuesta Led.

7 MEDIDAS DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN FRÍO INDUSTRIAL

*No hay que ir para atrás ni para dares impulso
-Lao Tsé-*

Este capítulo se centrará en el tipo de instalación con más potencia de la empresa y en la que hay que tener especial cuidado, ya que la interrupción por mal funcionamiento de la misma, puede desencadenar la pérdida del mosto al no alcanzar la temperatura deseada.

7.1 Observaciones realizadas

En este apartado, se analizará toda la información proporcionada por la empresa en cuestión, se recogerán los aspectos más generales y posteriormente se propondrán las medidas de eficiencia energética más apropiadas.

7.1.1 Inventario equipos de frío industrial

A continuación, se resumen las características de los equipos de frío industrial:

Unidades	Tipo	Capacidad frigorífica (kW)	Potencia abs. (kW)	EER	Potencia total (kW)	Uso
1	Enfriadora	600	212	2,83	212	Proceso de pasteurización. Una es de apoyo
1	Enfriadora	785	289	2,72	289	
1	Enfriadora	344	152	2,26	152	Refuerzo pasteurizador grande
2	Uds. Condensadoras	35	12	2,87	24	Cámara frigorífica

Tabla 7-1. Inventario frío industrial.

Como se ha mencionado anteriormente y se ve en tabla, la potencia total es de 677 kW, donde:

- Las dos primeras enfriadoras se utilizan de forma alternativa para enfriar los mostos concentrados antes de entrar a la zona de filtrado y para las fases de enfriado de los pasteurizadores
- La última enfriadora se utiliza puntualmente cuando el cliente requiere el mosto pasteurizado a una temperatura de 10 °C.

Aunque no se dispone de un proceso totalmente repetitivo en este caso, ya que algunas enfriadoras pueden o no entrar en proceso según exija el cliente y la calidad del mosto, se puede afirmar que en torno al 70 % del consumo total de enfriadoras va dirigido al concentrador, y que el porcentaje restante se divide de una manera equitativa.

7.1.2 Sistema de regulación y control

Actualmente el sistema de regulación y control existente es el siguiente:

- Las enfriadoras se ponen en funcionamiento de forma manual cuando el proceso los requiera.
- De forma local en cada central de frío se programan los sets points de temperatura de cada uno de los equipos, estando de forma habitual en el rango 7°C – 12 °C.

7.1.3 Estado de conservación y mantenimiento

Según las fotos proporcionadas de la instalación de frío, por lo general se puede observar que las instalaciones se encuentran en un buen estado de conservación y mantenimiento, aunque se destacan algunos aspectos a mejorar como podemos ver:



Ilustración 7-1. Tuberías del circuito de frío.



Ilustración 7-2. Enfriadora.



Ilustración 7-3. Tuberías con aislamiento deteriorado

Los aspectos a mejorar en general, se resume en el poco aislamiento del circuito de frío y en las tuberías donde lo encontramos, se encuentra muy deteriorado.

Esto generará unas pérdidas energéticas importantes sobre todo en los meses de verano.

7.2 Medidas de mejora de eficiencia energética en frío industrial

En este apartado se evaluarán las medidas de mejora en frío industrial.

Para ello se propone instalar aislamiento en el depósito de inercia y las tuberías del circuito que suministran refrigeración al concentrador y pasteurizadores. El aislamiento propuesto se realizará sobre las tuberías de menor temperatura del circuito, es decir, sobre las tuberías de ida.

A continuación, se resumen los datos principales de cada análisis:

	Dimensiones (m)	Pérdidas estimadas (W/m)	Horas anuales funcionamiento	Pérdidas energía (kWh)
Tubería concentrador	50	380	2.065	39.235
Tubería pasteurizador pequeño	100	380	328	12.464
Tubería pasteurizador grande	120	380	91	4.150
Depósito inercia	26 m ²	115	2.065	6.174
TOTAL				62.023

Tabla 7-2. Medida aislamiento de tuberías frío

Suponiendo que tras la instalación del aislamiento en estos elementos, se mantendrían unas pérdidas del 15%, la energía frigorífica recuperada sería de unos 8995 kWh al año.

Se ha considerado un EER de la enfriadora de 2,83 y un precio medio de compra de la electricidad de 0,1 €/kWh.

Además, tanto los resultados obtenidos como el estudio de esta medida se encuentran detallados en el Anexo III.

	Inversión (€)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro CO ₂ (tCO ₂ / año)	Retorno inversión (años)
Instalación aislamiento tuberías frío	4.900	62.023	4.938	20,5	1

Tabla 7-3. Resultados medidas de mejora en frío industrial

8 MEDIDAS DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN GENERACIÓN DE VAPOR

*Cada día sabemos más y entendemos menos
-Albert Einsteins-*

Para esta sección, se va analizar con especial detalle el ciclo de vapor que interviene en la cooperativa, ya que como se ha dicho anteriormente, es la instalación consumidora de energía más grande y por tanto, la que hay que mejorar más eficientemente.

8.1 Observaciones realizadas

En este apartado, se analizará toda la información proporcionada por la empresa en cuestión, se recogerán los aspectos más generales y posteriormente se propondrán las medidas de eficiencia energética mas apropiadas.

8.1.1 Inventario equipos de generación de vapor

Como parte del inventario de generación de vapor, sólo encontramos la caldera de vapor de 3,35 MW de potencia térmica.

8.1.2 Sistema de regulación y control

Actualmente la marcha y paralización de la caldera se realiza diariamente de forma manual. Las condiciones de vapor prefijadas son de 6 bar y 170 °C.

8.1.3 Estado de conservación y mantenimiento

Como en la instalación de frio, en general, los equipos de generación térmica se encuentran en un buen estado de mantenimiento, exceptuando los tramos de tuberías sin aislamiento con las consiguientes pérdidas térmicas. Como podemos ver en las imágenes siguientes:



Ilustración 8-1. Tuberías conducción del vapor.



Ilustración 8-2. Caldera de vapor.

8.2 Medidas de mejora de eficiencia energética en frío industrial

Se pueden diferenciar entre aquellas donde la inversión es alta o baja.

8.2.1 Inversión baja

Se propone instalar aislamiento en el depósito de alimentación, colector de impulsión y válvulas de control del concentrador del circuito de vapor existente.

Se resumen a continuación, los datos principales de cada análisis:

	Dimensiones (m)	Pérdidas estimadas (W/m)	Horas anuales funcionamiento	Pérdidas energía (kWh)
Colector de vapor	2	3900	2.065	16.107
Válvulas de control	4	3900	2.065	32.214
Depósito de alimentación	16	900 (W/m ²)	2.065	29.736
TOTAL				78.057

Tabla 8-1. Medidas de mejora aislamiento tuberías vapor.

Suponiendo que tras la instalación del aislamiento en estos elementos, se mantendrían unas pérdidas del 15 %, la energía calorífica recuperada sería de 30.331 kWh al año.

Considerando además un rendimiento de la caldera de un 85 % y un precio mínimo de compra del gas natural de 0,033€ el kWh, el retorno de la inversión será:

	Inversión (€)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro CO₂ (tCO₂/ año)	Retorno inversión (años)
Instalación aislamiento tuberías de vapor	4.720	35.683	2.575	19,7	2

Tabla 8-2. Resultados medidas de mejora instalación de vapor.

8.2.2 Inversión alta

Se propone la sustitución de la caldera de vapor actual por una caldera de biomasa de similares características a la actual. El combustible a utilizar en esta caldera será hueso de aceituna. Se ha considerado un precio medio de compra de hueso de 0,1 € el kilogramo.

El cálculo del rendimiento actual de la caldera de biomasa y de la medida, así como el estudio de viabilidad de la propuesta se encuentra en el Anexo V. A continuación, se muestra el resumen de la medida:

	Inversión (€)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro CO₂ (tCO₂/ año)	Retorno inversión (años)
Instalación caldera de biomasa	450.000	0	52.594	1,497	8

No se ha barajado la opción de una cogeneración en la planta ya que, debido a la baja producción de vapor y las condiciones de éste, hace muy poco rentable esta posibilidad. Además, la inversión para la generación del MW eléctrico sería muy grande para una instalación de estas características.

9 MEDIDAS DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES

Vive como si fueras a morir mañana; aprende como si el mundo fuera a durar para siempre
-Mahatma Gandhi-

Eara esta parte, nos centraremos en el estudio y mejora de la eficiencia de los motores eléctricos que componen la cooperativa. Se encuentra en segundo lugar por detrás de la instalación de frío industrial.

9.1 Introducción

Los motores de alta eficiencia son motores de diseño y construcción más cuidadosos que los motores estándar para conseguir que tengan menos pérdidas y, en consecuencia, mejor rendimiento.

Estos motores tienen secciones más elevadas en los devanados del estator y del rotor (la jaula de ardilla), para reducir pérdidas en ellos. También utilizan ranuras de mayor sección y bobinados con cabezas de bobina menores. Además, la jaula se construye con un material de menor resistividad eléctrica.

Trabajan con campos magnéticos más pequeños con el fin de reducir sus pérdidas magnéticas. Esto hace que el núcleo magnético sea de mayor tamaño (más voluminoso y pesado). El acero utilizado para el núcleo magnético es de características mejoradas y se emplean chapas más delgadas.

Al tener menos pérdidas, en estos motores se genera menos calor y esto permite usar un sistema de refrigeración que consume menos energía, con lo que se reducen las pérdidas mecánicas.

También se mejora el diseño aerodinámico y se usan cojinetes mejores.

Las pérdidas adicionales se mejoran mediante un diseño optimizado y un proceso de construcción cuidadoso.

Al tener menores pérdidas, estos motores suelen tener menor deslizamiento. Por otra parte, los pares y corrientes de arranque y máximo quedan modificados con respecto a un motor estándar.

Según la norma *IEC 60034-30: 2008*, se aplica a motores trifásicos, de hasta 1000 V; a,75 a 375 kW; 50 y 60 Hz y 2, 4 y 6 polos. No incluye motores construidos para funcionar exclusivamente con variadores ni los motores completamente integrados en una máquina (ya que no pueden ser ensayados por separado).

Esta norma establece 3 categorías de rendimiento:

IE1: Rendimiento estándar

IE2: Alto rendimiento

IE3: Rendimiento premium

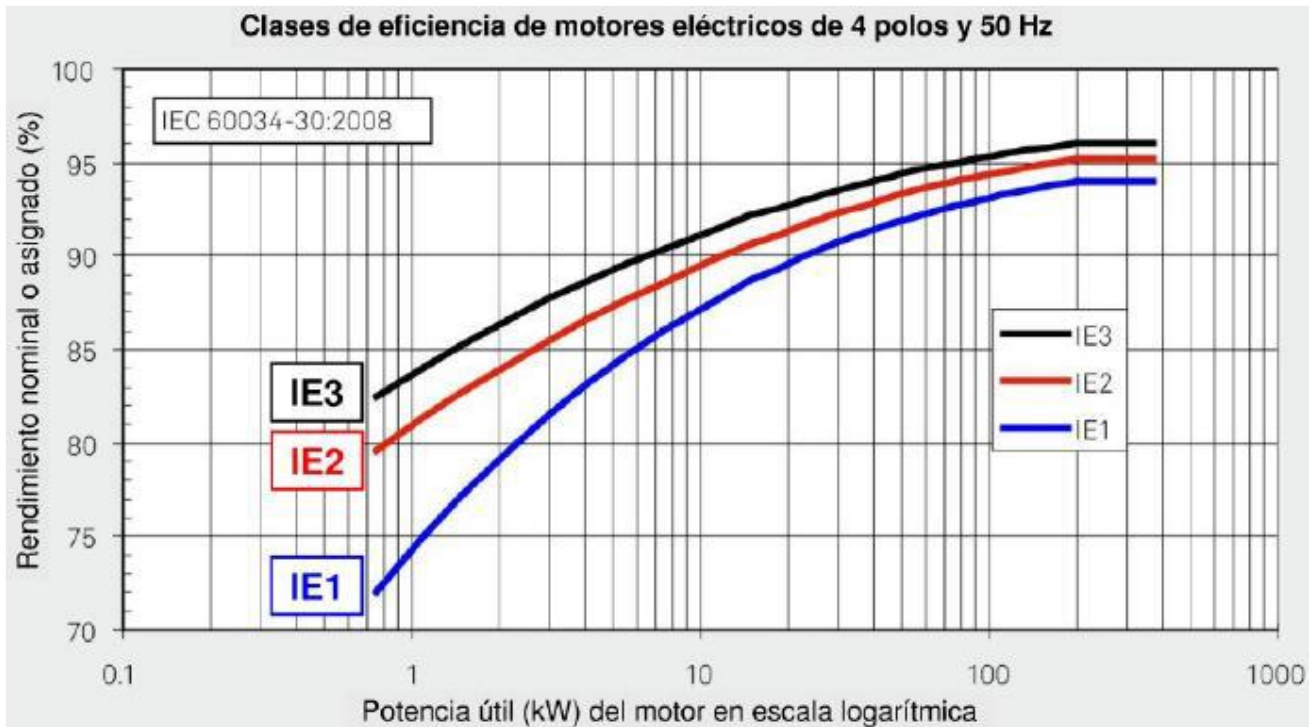


Ilustración 9-1. Rendimiento de los motores según su clasificación de eficiencia.

9.2 Observaciones realizadas

A continuación, se proporciona el listado de motores que debido a su alto régimen de funcionamiento se pueden plantear medidas de mejora:

Descripción maquinaria	Ubicación	Cantidad	Potencia unitaria (kW)	Potencia total (kW)
Bomba filtros	Nave de filtracion	1	11	11
Bomba primario enfriadora	Nave de filtracion	1	11	11
Bomba primario enfriadora	Nave de filtracion	1	7,5	7,5
Bomba secundario enfriadora	Nave de filtracion	1	4	4
Bomba secundario enfriadora	Nave de filtracion	1	11	11
Bomba trasiego	Nave concentrador	1	7,5	7,5
Bomba de trasiego	Nave concentrador	1	4	4
Bomba de trasiego	Nave concentrador	1	2,2	2,2
Torre de refrigeración	-	1	18,5	18,5
Bomba circuito mosto concentrador	Nave concentrador	6	4	24
Bomba extracción agua evap. de mosto	Nave concentrador	5	1,1	5,5
Bomba concentrado final	Nave concentrador	2	5,5	11
Bomba concentrado final	Nave concentrador	2	2,2	4,4
Bomba para filtrado concentrado	Nave concentrador	1	7,5	7,5
Bomba de trasiego	Cámara conservación	1	1,5	1,5
Pasteurizador grande (Mosto)	Zona envasado	1	15	15
Pasteurizador grande (Limpieza)	Zona envasado	1	3	3
Pasteurizador pequeño (Mosto)	Zona envasado	1	4	4
Pasteurizador pequeño (Limpieza)	Zona envasado	1	5,5	5,5
Pasteurizador pequeño (Intercambiador)	Zona envasado	1	3	3
Ventilador quemador caldera	Zona caldera vapor	1	11	11
Bombas circulacion agua caldera vapor	Zona caldera vapor	2	4	8
Bombas alimentación agua caldera vapor	Zona caldera vapor	1	3	3

Tabla 9-1. Inventario motores.

9.3 Medidas de mejora de eficiencia energética en motores

Se propone la sustitución de los motores de los equipos con mayores horas de funcionamiento, por motores de alta eficiencia. Para calcular el ahorro energético al sustituir un motor estándar por otro nuevo de alta eficiencia es preciso tener en cuenta que, incluso en los motores estándar, el rendimiento ha ido mejorando con los años y no se pueden aplicar los valores de rendimiento de los motores estándar actuales a motores antiguos. Además, el rendimiento de un motor puede haberse reducido si ha sido sometido a reparaciones, especialmente a rebobinados. Esto hace que aún sea más interesante la sustitución por un motor de alta eficiencia.

El análisis de sustitución de motores de alta eficiencia, se centrará sobre los equipos con mayor funcionamiento inventariados en el apartado Anexo VI:

	Inversión (€)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro CO₂ (tCO₂/año)	Retorno inversión (años)
Sustitución por motores de alta eficiencia	12.943	22.196	1.881	7,35	7

Tabla 9-2. Resumen medidas eficiencia a motores.

10 IMPLANTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

*La ciencia es la humildad en la búsqueda de lo verdadero
y en cuanto pierda esa humildad ya no es más que una
forma de embaucamiento
-Antonio Escotado-*

Para finalizar el listado de medidas de mejora energética se ha realizado un estudio de viabilidad para la incorporación de energías renovables en las instalaciones de la cooperativa.

10.1 Introducción

La opción elegida finalmente ha sido la instalación fotovoltaica sin acumulación.

El espacio disponible para la instalación no es totalmente suficiente como para poder autoabastecerse totalmente, por lo que la única opción disponible actualmente se trata de una planta subdimensionada, de poco más de 100 kW de potencia pico ubicada en el tejado a dos aguas de la nave principal y la entrada a oficinas y almacén.

Los cálculos realizados se han comprobado además con el software PVsyst y se podrán ver en el anexo VII detalladamente, al igual que los detalles más importantes de la instalación.

10.2 Observaciones realizadas

Como se ha comentado en la sección anterior, la ubicación de paneles ha sido muy limitada, por lo que se ha optado por la siguiente situación.



Ilustración 10-1. Ilustración de la ubicación elegida¹⁰. Fuente: Google Earth.

Se podrán situar como primera aproximación 300 módulos, que se dividirán en dos subsistemas como se puede observar en la imagen anterior.

El primer subsistema ubicado en la nave principal contará con 160 paneles de 345 Wp, haciendo un total de 55,2 kWp y el segundo subsistema de 48,3 kWp que contará con 140 paneles.

El inversor utilizado será de 90 kW de potencia nominal de salida, y como vemos, lejos de los 200 kW de potencia mínima contratada hará que sea un Sistema subdimensionado, es decir, todo lo producido será consumido por lo que no es necesario un sistema de acumulación.

El sistema además cuenta con sus principales protecciones: varistores en cada ramal, interruptor-seccionador en la caja de conexiones (combiner box), fusibles para cada string, y posterior al inversor, diferencial y magnetotérmico.

10.3 Instalación fotovoltaica como medida de mejora energética

En este apartado se analiza de una manera no detallada la viabilidad económica de una instalación con las características propuestas anteriormente. Para más detalle, como en cada capítulo, se ha añadido el cálculo al anexo correspondiente el presupuesto y viabilidad de este.

Cabe destacar que como cada presupuesto, se ha hecho de manera aproximada según diferentes catálogos de precios.

¹⁰ El plano de situación de módulos se encontrará en el anexo asociado.

	Inversión (€)	Ahorro energético (MWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro CO₂ (tCO₂/año)	Retorno inversión (años)
Implantación planta fotovoltaica de 100 kW	70.215	166	12.935 ¹¹	54	6

¹¹ Ahorro aproximado según precio tarifario promedio para cada mes.

11 CONCLUSIONES

*Nunca rompas el silencio si no es para mejorarlo
-Beethoven-*

A continuación se resumen la inversión, ahorro obtenido y retorno simple de la inversión para las medidas de mejora de eficiencia energética propuestas en cada uno de los sistemas analizados.

11.1 Resumen de propuestas

	Prioridad	Inversión (€)	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro CO ₂ (tCO ₂ /año)	Retorno inversión (años)
Optimización de potencia	Alta	-	-	685	-	-
Sustitución iluminación actual por iluminación led	Alta	28.792 €	32.227	5.987	10,67	5
Instalación aislamiento tuberías frío industrial	Baja	4.900	62.023	4.938	20,5	1
Instalación aislamiento tuberías de vapor industrial	Alta	4.720	35.683	2.575	19,7	2
Instalación caldera de biomasa	Media	450.000	0	52.594	1.497	8
Sustitución de motores por alta eficiencia	Media	12.943	22.196	1.881	7,35	7

Instalación fotovoltaica de autoconsumo	Media	70.215	166.000	12.935	54	6
TOTAL	Media	571.570	318.129	81.595	1.609,22	5

Tabla 11-1. Conclusiones propuestas de mejora.

12 ANEXOS

*La duda es la madre de la invención
-Galileo Galilei-*

Se detallará en este capítulo los cálculos realizados para el estudio de viabilidad técnico y de amortización de la medida de mejora propuesta dicha anteriormente.

12.1 Anexo I. Inventario de potencias

Por extensión, no añadiré el inventario de potencia instalada en iluminación, y sólo nos quedaremos con el resumen del apartado correspondiente. Para las demás áreas, se expone a continuación.

CLIMATIZACIÓN							
Zona	Unidades	Capacidad frigorífica (kW)	Capacidad calorífica (kW)	Potencia (kW)	Potencia calorífica (kW)	EER	COP
Oficinas	2	22,4	25	6,97	6,89	3,21	3,63
Oficinas	2	28	31,5	10,6	10,8	3,16	3,47

Tabla 12-1. Inventario climatizacion

PASTEURIZADORES							
Equipo	Potencia instalada (kW)	Consumo vapor (kg/h)	Presión	Caudal de funcionamiento	T ^a producto entrada (°C)	T ^a mínima de salida (°C)	T ^a máx. Esterilización (°C)
Pasteurizador 1	16	350	8 bar	2.500 l/h	15	25	110
Pasteurizador 2	40	500	6 bar	20.000 kg/h	25	10	95

Tabla 12-2. Inventario de pasteurizadores

12.2 Anexo II. Medidas de mejora en iluminación

Para llegar a las conclusiones mencionadas se han seguido los siguientes pasos:

1º) Se ha estimado el número de horas de funcionamiento según el periodo tarifario de la ilustración 4-2 y el resultado es:

P1	P2	P3	P4	P5	P6	TOTALES
470 horas	282 horas	286 horas	306 horas	496 horas	168 horas	2008 horas

Tabla 12-3. Horas totales de funcionamiento de iluminación por periodos.

Sin embargo, esto no se acerca a la realidad, ya que no toda la iluminación está siempre encendida, luego al comparar con otra industria similar se ha decidido tomar un promedio de horas de funcionamiento para cada tipo de luminaria led por zonas, dando como resultado¹²:

P1	P2	P3	P4	P5	P6
312 horas	187 horas	190 horas	203 horas	329 horas	111 horas

Tabla 12-4. Estimación horas funcionamiento de iluminación por periodos.

2º) Seguidamente, se ha calculado el ahorro de potencia en kW y el ahorro del término de potencia en €/año, ya que una vez elegido los reemplazos en led y saber sus características, se pueden calcular fácilmente multiplicando por el periodo tarifario 6.1 descrito en la sección 4.2.1.

3º) Además, también se puede calcular el ahorro energético. Para ello, sólo es necesario multiplicar la potencia nueva led a las horas de funcionamiento estimadas y al precio de la energía según nuestra tarifa.

4º) Cuando ya tenemos estos datos en una tabla¹³ y la inversión inicial, procedemos al cálculo de flujos de caja. Se pueden ver en la siguiente página.

Se considera una actualización del precio de la electricidad del 3%, del IPC del 3%, un impuesto de electricidad del 5,11%.

¹² Sólo se mostrarán los resultados estimados y en promedio ya que es un inventario amplio para toda la cooperativa

¹³ Se ha utilizado el programa Excel para facilitar los cálculos de tablas

AÑO	Ahorros			Pagos		Flujo de fondos	
	Ahorro término potencia	Ahorro término energía	Ahorro reposición equipos	Inversión Desembolso inicial	Préstamo	Cash- Flow anual	Cash-Flow acumulado
	(1)	(2)	(3)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	2.556,68 €	2.539,71 €	890,98 €	-28.792,15 €		-22.804,78 €	-22.804,78 €
2	2.633,38 €	2.615,90 €	917,71 €			6.166,99 €	-16.637,79 €
3	2.712,38 €	2.694,38 €	945,24 €			6.352,00 €	-10.285,79 €
4	2.793,75 €	2.775,21 €	973,59 €			6.542,56 €	-3.743,24 €
5	2.877,56 €	2.858,47 €	1.002,80 €			6.738,83 €	2.995,60 €
6	2.963,89 €	2.944,22 €	1.032,89 €			6.941,00 €	9.936,60 €
7	3.052,81 €	3.032,55 €	1.063,87 €			7.149,23 €	17.085,83 €
8	3.144,39 €	3.123,53 €	1.095,79 €			7.363,71 €	24.449,53 €
9	3.238,72 €	3.217,23 €	1.128,66 €			7.584,62 €	32.034,15 €
10	3.335,89 €	3.313,75 €	1.162,52 €			7.812,16 €	39.846,31 €
11	3.435,96 €	3.413,16 €	1.197,40 €			8.046,52 €	47.892,83 €
12	3.539,04 €	3.515,56 €	1.233,32 €			8.287,92 €	56.180,75 €
13	3.645,21 €	3.621,02 €	1.270,32 €			8.536,55 €	64.717,30 €
14	3.754,57 €	3.729,65 €	1.308,43 €			8.792,65 €	73.509,95 €
15	3.867,21 €	3.841,54 €	1.347,68 €			9.056,43 €	82.566,38 €
16	3.983,22 €	3.956,79 €	1.388,11 €			9.328,12 €	91.894,50 €
17	4.102,72 €	4.075,49 €	1.429,75 €			9.607,97 €	101.502,47 €
18	4.225,80 €	4.197,76 €	1.472,65 €			9.896,21 €	111.398,68 €
19	4.352,57 €	4.323,69 €	1.516,83 €			10.193,09 €	121.591,77 €
20	4.483,15 €	4.453,40 €	1.562,33 €			10.498,88 €	132.090,65 €
Total	68.699 €	68.243 €	23.940 €	-28.792,15 €		132.090,65 €	

Tabla 12-5. Flujos de caja para iluminación.

Como resumen vemos:

- El periodo de retorno de inversión es de 5 años.
- La T.I.R a 20 años de del 29,7 %.
- El ahorro total a 20 años es de 132.091 €.

12.3 Anexo III. Frío industrial

Para el cálculo de la inversión del aislamiento del frío industrial, se hará una estimación de las pérdidas

térmicas por metro de tubería y se calculará el ahorro con el aislamiento suponiendo un precio de compra de la energía de 0,1 € el kWh.

Para la estimación de las pérdidas de calor, se tendrán en cuenta por su baja temperatura solo las pérdidas por conducción y convección. Se analizará de manera simplificada por el método de las resistencias, escogiendo una tubería tipo como la que se ve a continuación:

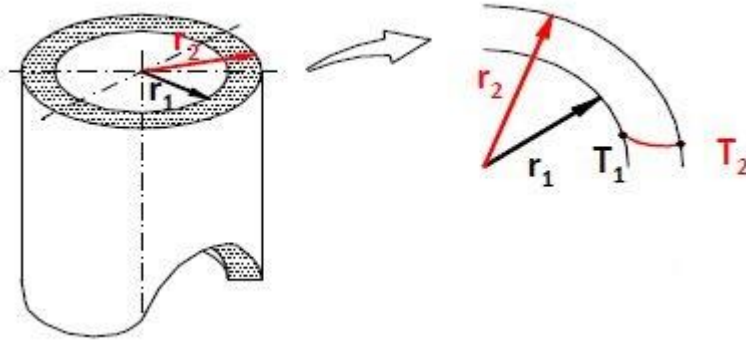


Ilustración 12-1. Parámetros tubería.

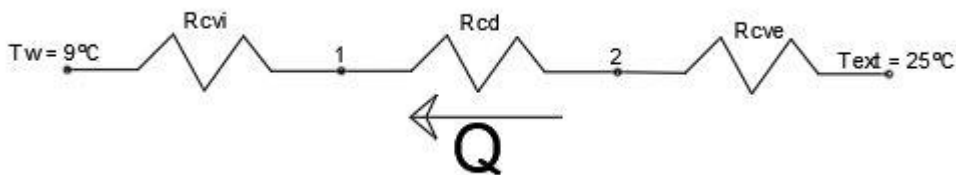


Ilustración 12-2. Simplificación del cálculo transmisión calor.

Se utilizan las ecuaciones siguientes:

$$Q = \frac{T_{ext} - T_i}{\sum R}$$

$$R_{cvi} = \frac{1}{h_i * 2\pi * R_1}$$

$$R_{cd} = \frac{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}{k * 2\pi}$$

$$R_{cve} = \frac{1}{h_e * 2\pi * R_2}$$

Por lo tanto, teniendo una $T_{ext} = 25\text{ °C}$, $T_w = 9\text{ °C}$, $h_i = 2000\text{ (W/mK)}$, $h_e = 55\text{ (W/mK)}$, y los radios dependiendo la tubería de unos 10 y 12 centímetros, tendremos una transferencia de calor de 380 W.

Suponiendo un coste medio del precio de la energía de 0,079616 €/kWh, ya que las máquinas están encendidas según convenga en el proceso, el resultado de la inversión sería el siguiente.

AÑO	Ahorros	Pagos	Flujo de fondos	
		Inversión Desembolso inicial	Cash- Flow anual	Cash-Flow acumulado
1	4.938,00 €	-4.900,00 €	38,00 €	38,00 €
2	5.086,14 €		5.086,14 €	5.124,14 €
3	5.238,72 €		5.238,72 €	10.362,86 €
4	5.395,89 €		5.395,89 €	15.758,75 €
5	5.557,76 €		5.557,76 €	21.316,51 €
6	5.724,50 €		5.724,50 €	27.041,01 €
7	5.896,23 €		5.896,23 €	32.937,24 €
8	6.073,12 €		6.073,12 €	39.010,36 €
9	6.255,31 €		6.255,31 €	45.265,67 €
10	6.442,97 €		6.442,97 €	51.708,64 €
11	6.636,26 €		6.636,26 €	58.344,90 €
12	6.835,35 €		6.835,35 €	65.180,24 €
13	7.040,41 €		7.040,41 €	72.220,65 €
14	7.251,62 €		7.251,62 €	79.472,27 €
15	7.469,17 €		7.469,17 €	86.941,44 €
Total	56.608,64 €	-4.900,00 €	51.708,64 €	

Tabla 12-6. Flujo de caja para frío industrial.

Como resumen vemos:

- El periodo de retorno de inversión es de 1 año.
- El ahorro total a los 15 años asciende a más de 86.000 €.

12.4 Anexo IV. Tuberías de vapor

Como en la sección anterior, procederemos al mismo cálculo solo que se cambiará la temperatura interior de la tubería a unos 90°C de media por operación, un $h_i = 6000$ (W/mK), y el radio de la tubería, que pasará a ser de 15 centímetros estimados y 2 de grosor.

Realizando la misma operación observamos que por el coeficiente de transmisión de calor el valor de pérdida térmica es mucho más alto, en torno a 3,9 kW por cada metro de tubería de vapor (en algunos casos líquido saturado).

Se proporciona los flujos de caja en la siguiente tabla:

AÑO	Ahorros	Pagos	Flujo de fondos	
		Inversión Desembolso inicial	Cash- Flow anual	Cash-Flow acumulado
1	2.575,00 €	-4.720,00 €	-2.145,00 €	-2.145,00 €
2	2.652,25 €		2.652,25 €	507,25 €
3	2.731,82 €		2.731,82 €	3.239,07 €
4	2.813,77 €		2.813,77 €	6.052,84 €
5	2.898,19 €		2.898,19 €	8.951,02 €
6	2.985,13 €		2.985,13 €	11.936,16 €
7	3.074,68 €		3.074,68 €	15.010,84 €
8	3.166,93 €		3.166,93 €	18.177,77 €
9	3.261,93 €		3.261,93 €	21.439,70 €
10	3.359,79 €		3.359,79 €	24.799,49 €
11	3.460,58 €		3.460,58 €	28.260,07 €
12	3.564,40 €		3.564,40 €	31.824,48 €
13	3.671,33 €		3.671,33 €	35.495,81 €
14	3.781,47 €		3.781,47 €	39.277,28 €
15	3.894,92 €		3.894,92 €	43.172,20 €
Total	29.519,49 €	-4.720,00 €	24.799,49 €	

Tabla 12-7. Fljos de cajas aislamiento de tuberías de vapor.

Como resumen vemos:

- El periodo de de retorno de inversión es de solo 2 años.
- El VAN con una tasa de descuento del 5 % es de 27.768 €

12.5 Anexo V. Generación de vapor

En esta medida se contempla la sustitución de la caldera de vapor existente por una caldera de biomasa de capacidad térmica suficiente para su function.

El equipo a sustituir se trata de una caldera de vapor RCB 5000-10 de 3.350 kW de potencia, con un rendimiento de un 85 %.

Se propone sustituirla por una caldera de la misma potencia.

Debemos de tener en cuenta los siguientes datos:

Datos de relevancia	
Precio gas natural (€/kWh)	0,033
Precio hueso (€/kWh)	0,11
PCI hueso (kWh/kg)	4
Coefficiente de paso gas (kgCO ₂ /KWh)	0,252
Coefficiente de paso biomasa (kgCO ₂ /kWh)	0,018

Tabla 12-8. Datos de relevancia (coeficientes de paso y precios de la energía)

Los datos extraídos y calculados fueron los siguientes:

Rendimiento de la caldera de biomasa propuesta	85%
Consumo de energía final	5.375.586 kWh
Consumo de energía primaria	6.324.219 kWh
Gasto de hueso (kg/año)	1.581.055 kg
Coste de hueso	158.105 €
Coste de caldera de biomasa	450.000 €

Tabla 12-9. Resumen consumos y coste anual propuesto

Por lo tanto, como resultado de los flujos de caja obtenemos:

Inversión	Ahorro energético	Ahorro económico	Ahorro tCO₂/año	Retorno de la inversión
450.000 €	0 kWh	52.594 €	1.497	8,56

Tabla 12-10. Resumen ahorro y retorno de la inversión.

A continuación, se recoge el estudio de viabilidad de la medida:

AÑO	Ahorros	Pagos	Flujo de fondos	
		Inversión Desembolso inicial	Cash- Flow anual	Cash-Flow acumulado
1	52.593,53 €	-450.000,00 €	-397.406,48 €	-397.406,48 €
2	54.171,33 €		54.171,33 €	-343.235,14 €
3	55.796,47 €		55.796,47 €	-287.438,67 €
4	57.470,36 €		57.470,36 €	-229.968,31 €
5	59.194,48 €		59.194,48 €	-170.773,83 €
6	60.970,31 €		60.970,31 €	-109.803,52 €
7	62.799,42 €		62.799,42 €	-47.004,10 €
8	64.683,40 €		64.683,40 €	17.679,30 €
9	66.623,90 €		66.623,90 €	84.303,20 €
10	68.622,62 €		68.622,62 €	152.925,82 €
Total	602.925,82 €	-450.000,00 €	152.925,82 €	

Tabla 12-11. Flujos de caja caldera biomasa.

Como se puede observar:

- El periodo de retorno de la inversión es de 8 años.
- La T.I.R del proyecto a 10 años es del 6,76 %.
- El VAN con una tasa de descuento al 5 % es de 31.495 €.
- El valor de caja al año 10 sería de 152.925 € aproximadamente.

12.6 Anexo VI. Motores de alta eficiencia. Estudio de viabilidad económica

En esta sección, se partirá del inventario de motores proporcionado en el punto 9. Según la norma nombrada también en dicho apartado, se observa que todos los motores que funcionan en la fábrica, pertenecen a la categoría IE1, considerado como un motor convencional ya que estos han ido mejorando continuamente.

Se realiza un estudio de viabilidad de dos grupos de motores, en concreto para los de 2.065 y 328 horas de funcionamiento.

Para la estimación del ahorro y ver si es necesario su sustitución, realizaremos los siguientes cálculos, empezando por la siguiente recogida de datos.

Orden	Potencia motor	Cantidad	Eficiencia	Factor de carga	Régimen de uso	Rendimiento actual
1	1,10 kW	5	IE1	75,00%	100,00%	73,50%
2	1,50 kW	1	IE1	75,00%	100,00%	75,00%
3	2,20 kW	3	IE1	75,00%	100,00%	78,50%
4	4,00 kW	8	IE1	75,00%	100,00%	81,00%
5	5,50 kW	2	IE1	75,00%	100,00%	83,00%
6	7,50 kW	2	IE1	75,00%	100,00%	83,50%
7	11,00 kW	2	IE1	75,00%	100,00%	85,60%
8	18,50 kW	1	IE1	75,00%	100,00%	87,70%

Tabla 12-12. Datos eficiencia motores 2065 horas uso.

Estimamos unas pérdidas por envejecimiento del 3% y se proponen los siguientes cambios de motores:

Orden	Rendimiento propuesta
1	83,5 %
2	85 %
3	86,5 %
4	88,4 %
5	88,7 %
6	89,8%
7	91,4 %
8	92,3 %

Tabla 12-13. Rendimiento propuesto motores 2065 horas.

El siguiente paso es estimar el ahorro energético, para ello seguimos la siguiente ecuación:

$$Ahorro = \left(\frac{P_{motor}}{Rt_{o_{actual}} - P_{motor}} \right) / Rt_{o_{propuesto}} * Horas_{fto} * RégimenUso$$

Una vez que se tiene el ahorro en kWh, se puede calcular según la distribución de horas en los diferentes periodos y con esto y el precio de la energía, el ahorro por término de energía de cada motor.

Horas P1	Horas P2	Horas P3	Horas P4	Horas P5	Horas P6	TOTALES
289 horas	289 horas	165 horas	268 horas	372 horas	681 horas	2065,000 horas

Tabla 12-14. Distribución periodo de horas motores de 2065.

Para el ahorro de potencia se restarán los kW ahorrados en cada sustitución de motor, y se multiplica por el precio del kW en la tarifa.

El resultado es el siguiente:

Orden	Potencia motor (kW)	Unidades	Inversión Total	Ahorro energético	Ahorro económico	Ahorro CO2 (TCO ₂)	Retorno simple
1	1,1	5	757 €	1851 kWh	248 €	0,61	3,05 años
2	1,5	1	178 €	486 kWh	28 €	0,16	6,36 años
3	2,2	3	612 €	1606 kWh	92 €	0,53	6,63 años
4	4	8	2.619 €	6829 kWh	393 €	2,26	6,67 años
5	5,5	2	778 €	1759 kWh	101 €	0,58	7,70 años
6	7,5	2	920 €	2602 kWh	150 €	0,86	6,15 años
7	11	2	1.726 €	3368 kWh	194 €	1,11	8,92 años
8	18,5	1	1.266 €	2171 kWh	125 €	0,72	10,15 años

Tabla 12-15. Resumen inversión motores.

Se hará el mismo procedimiento para los siguientes motores de 328 horas de funcionamiento por lo que solo se mostrarán ya los resultados.

Orden	Potencia motor	Cantidad	Eficiencia	Factor de carga	Régimen de uso	Rendimiento actual
1	3,00 kW	2	IE1	75,00%	100,00%	79,00%
2	4,00 kW	3	IE1	75,00%	100,00%	81,00%
3	5,50 kW	1	IE1	75,00%	100,00%	83,00%
4	7,50 kW	1	IE1	75,00%	100,00%	83,50%
5	11,00 kW	2	IE1	75,00%	100,00%	85,60%

Tabla 12-16. Datos eficiencia motores 328 horas.

Orden	Rendimiento propuesto
1	87,3 %
2	88,4 %
3	88,7 %
4	89,8 %
5	91,4 %

Tabla 12-17. Propuesta motores 328 horas.

Orden	Potencia motor (kW)	Unidades	Inversión Total	Ahorro energético	Ahorro económico	Ahorro CO2 (TnCO ₂)	Retorno simple
1	3	2	531 €	237 kWh	101 €	0,08	5,26571591
2	4	3	982 €	407 kWh	142 €	0,13	6,91 años
3	5,5	1	389 €	140 kWh	49 €	0,05	7,97 años
4	7,5	1	460 €	207 kWh	72 €	0,07	6,37 años
5	11	2	1.726 €	535 kWh	187 €	0,18	9,24 años

Tabla 12-18. Resumen inversión motores 328 horas.

12.7 Anexo VI. Implantación energías renovables. Estudio de viabilidad económica

En este apartado se estudiará la viabilidad económica para la implantación de placas fotovoltaicas como recurso para disminuir el consumo de energía eléctrica de la industria.

Aunque no se centrará en muchos detalles técnicos, ya que no es objetivo de este proyecto, se justificarán los pasos seguidos hasta llegar a la evaluación económica.

Para el estudio, se ha considerado como superficie disponible, el tejado de las naves, almacén y oficinas de la cooperativa, por lo tanto se ha obtenido una instalación fotovoltaica subdimensionada como se ha mencionado anteriormente.

12.7.1 Situación y distribución de módulos

Los tejados de la nave principal y oficinas están orientados al sur, por lo que no es la situación idónea para la colocación de los módulos, esto hará que el rendimiento de la instalación decaiga un poco como podemos observar en la siguiente imagen.

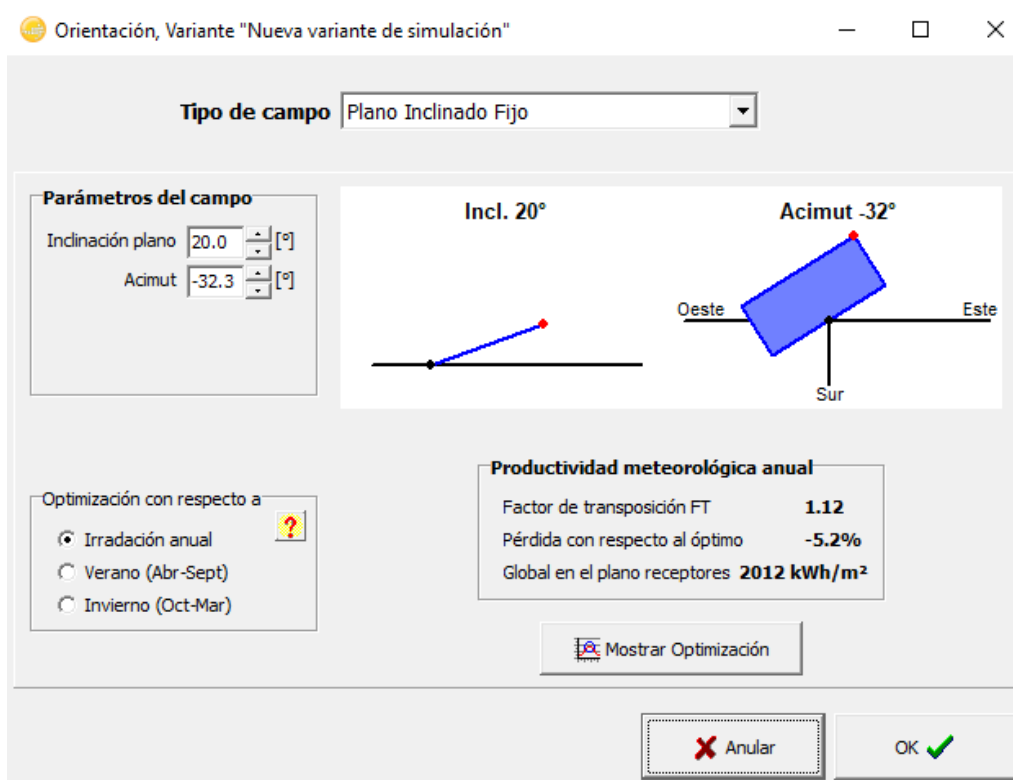


Ilustración 12-3. Orientación módulos y pérdida con respecto al óptimo. Fuente: Software PVsyst.

Se ha decantado por una inclinación a 20 ° ya que el tejado del almacén y oficinas del segundo subsistema tiene esa inclinación y es frontal al sur y por tanto la radiación será más homogénea en todos los paneles.

En la ilustración 10-1 podemos observar las dos ubicaciones de módulos, cuya distribución sería la siguiente.

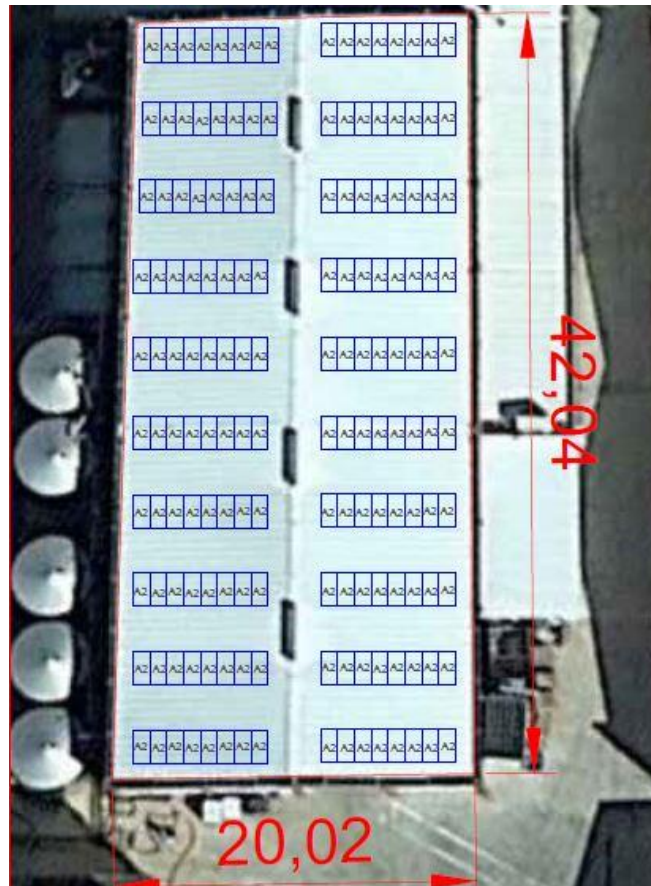


Ilustración 12-4. Situación módulos en nave principal.

Se ha supuesto un tejado a dos aguas a inclinación 20 °C, por lo que en totalidad cuenta con 160 paneles.

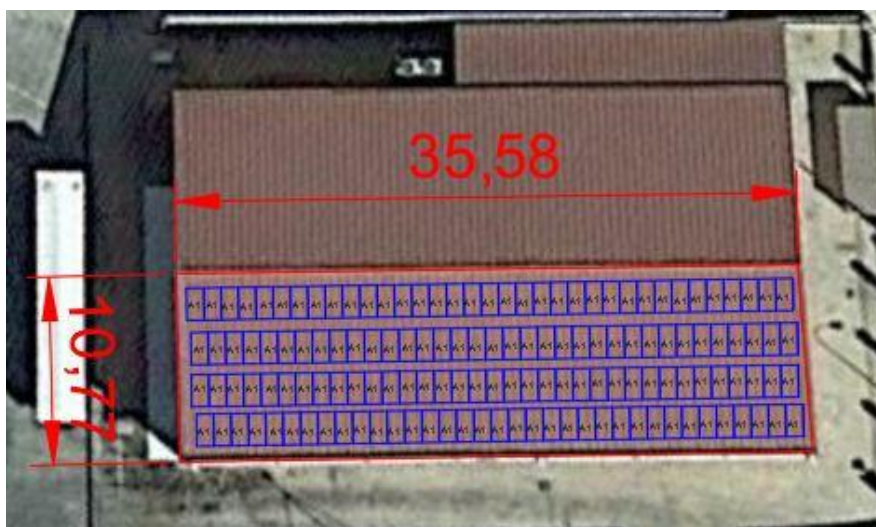


Ilustración 12-5. Situación módulos en almacén y oficinas.

En este caso, contaremos con 140 paneles haciendo un total de 300 módulos fotovoltaicos, es decir, una potencia instalada de 103,5 kWp.

12.7.2 Elementos que componen la instalación

En este subapartado se citarán todos los elementos más importantes que componen el sistema, con sus características.

- Módulo fotovoltaico

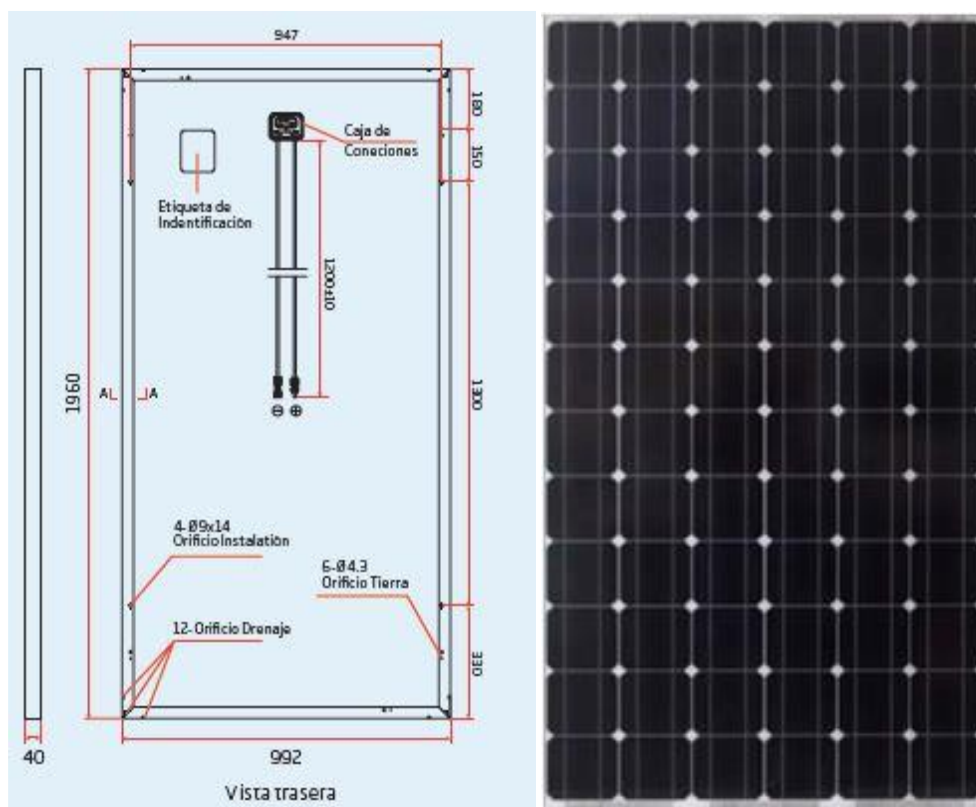


Ilustración 12-6. Vista y medidas del módulo fotovoltaico.

DATOS GENERALES	
DATOS	VALOR
Modelo panel	TSM-DE14A (II) 345
Dimensiones	1960 x 992 x 40 mm
Potencia	345 W
Tensión en el punto PMP (Vmp)	38.5 V
Intensidad en el punto PMP (Imp)	8.96 A
Corriente de cortocircuito (Icc)	9.55 A
Tensión en circuito abierto (Vca)	46.7 (V)
Temperatura Operación Nominal de la Celula (TONC)	44°C
Coefficiente de Tensión Respecto de la Temperatura	0.1458

Tabla 12-19. Características el módulo.

- Estructura de soporte

Para nuestros módulos se ha decidido crear una estructura metálica propia. En este caso, se trata de una estructura individual de aluminio tipo L, de 30x30x5 para todas.

- Inversor

Ilustración 12-7. Vista del inversor.

Datos de entrada (CC)	Valor
Modelo	Ingecon Sun 90
Rango de tensión PMP	513-850 V ¹⁴
Máxima tensión admisible	1100V
Máxima corriente de entrada	257 A
Número de entradas	4
Datos de salida (CA)	Valor
Potencia de salida	90 kW
Voltaje de salida	400 V
Eficiencia Europea	95.8 %
Dimensiones	82 x 100 x 170 cm
Peso	1.162 kg

Tabla 12-20. Características inversor.

¹⁴ No coinciden exactamente con ficha técnica, ya que varían según modelo.

- Combiner box



Ilustración 12-8. Fotografía de la combiner box.

Datos de entrada (CC)	Valor
Tensión máxima asignada	1000 V
Número de entradas por caja	16/24/32
Conexión del ramal	SUNCLIX
Datos de salida (CC)	Valor
Corriente asignada	Hasta 315 A
Interruptor-seccionador de CC	Hasta 400 A/ 1000 V
Descargador de sobretensión de CC	Tipo 2: 20 kA/ 40 kA
Número de salidas	1 o 2

Tabla 12-21. Características Combiner box.

- Cableado



Ilustración 12-9. Fotografía cable P-Sun.

Datos	Valor
Denominación	P-Sun 2.0 ZZ-F
Tensión asignada	0,6/1 kV
Tipo conductor	Cobre
Aislamiento	Goma tipo E16 (XLPE2)

Tabla 12-22. Características cable P-Sun.

- Protecciones

Para la protección contra sobrecorrientes se han escogido los fusibles calibrados que pueden soportar además los cortocircuitos que se puedan producir.



Ilustración 12-10. Fusible gVP.

DATOS	VALOR
Denominación	Df eléctrica -gPV
Intensidad Nominal	Desde 1 A a 20 A
Poder de corte	30 kA
Tensión asignada CC	1000 v

Tabla 12-23. Características del fusible gVP.

Para más protección se incorporará dentro de las cobiner box un interruptor-seccionador de corte en corriente continua, para que proteja la salida hacia el inversor.



Ilustración 12-11. Fotografía interruptor-seccionador.

DATOS		VALOR			
Denominación		S5000 DC			
Intensidad funcionamiento	100 A	160 A	250 A	400 A	
Poder corte	20 kA	20 kA	20 kA	20 kA	
Tensión asignada		1000V			
Nº de maniobras	200	200	200	200	

Tabla 12-24. Características interruptor-seccionador.

Contra sobretensiones se instalaría un varistor para cada ramal.



Ilustración 12-12. Fotografía Varistor DG M YPN.

DATOS	VALOR
Tipo de protección según normativa	Tipo II
Máxima tensión	1170 A
Resistencia a cortocircuitos	10 kA
Corriente total de descarga	40 kA
Nivel de protección	≤ 4 kV

Tabla 12-25. Características del varistor DG M YPV.

Después del inversor, es recomendable el uso de interruptores magnetotérmicos y diferenciales.



Ilustración 12-13. Fotografía del interruptor magnetotérmico.

DATOS	VALOR
Intensidad funcionamiento	160 A ajustables
Número de polos	4
Conexión	70 – 120 mm ²

Tabla 12-26. Características interruptor magnetotérmico.

12.7.3 Cálculo configuración de la planta

En este subapartdo se dimensionará y configurará nuestra planta.

Como sabemos nuestro campo esta sobredimensionado con respect al inversor (103 kWp frente a 90 kW), esto es así ya que los generadores difícilmente serán capaces de producir la potencia pico que ofrecen.

Se seguirán las siguientes ecuaciones que facilitan el cálculo de dicho sistema:

$$\begin{aligned}
 N^{\circ}Total_{paneles} &= N^{\circ}Paneles_{Serie} * N^{\circ}Paneles_{paralelo} \\
 N^{\circ}Paneles_{Serie} * V_{máxwp_{Panel}} &\leq V_{máxwp_{Inversor}} \\
 N^{\circ}Paneles_{Serie} * V_{mínwp_{Panel}} &\geq V_{mínwp_{Inversor}} \\
 N^{\circ}Hileras_{paralelo} * I_{cc_{Panel}} &\leq I_{máx_{Inversor}}
 \end{aligned}$$

Para resolver este sistema de ecuaciones sólo nos falta saber la tensión máxima y mínima del panel.

Para ello calculamos la BOE máxima y mínima a la que puede someterse el panel según las condiciones climatológicas del terreno.

$$T^a_{Panel} = T^a_{Máx-Mín} + \frac{TONC - 20}{800} * Irradiancia$$

Por lo tanto obtenemos:

$$\begin{aligned}
 T^a_{Máx} &= 34 + \frac{44 - 20}{800} * 1000 = 64^{\circ}C \\
 T^a_{Mín} &= 1 + \frac{44 - 20}{800} * 100 = 4^{\circ}C
 \end{aligned}$$

Por teoría, la tensión más baja se da con la temperatura más alta, luego:

$\Delta T1 = 64 - 25 = 39^{\circ}C$, dando una variación de tensión de $\Delta V = 39 * 0,1458^{15} = 5,6862 V$, esto dará una tensión mínima de $38,5 - 5,5852 = 32,8138 V$.

$\Delta T2 = 25 - 4 = 1^{\circ}C$, por lo tanto, se podrá dar una tensión de $41,5618 V$.

Esto hace que las ecuaciones queden de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 N^{\circ}Paneles_{Serie} * 41,568 &\leq 850 \\
 N^{\circ}Paneles_{Serie} * 31,934 &\geq 513 \\
 N^{\circ}Hileras_{paralelo} &\leq 257
 \end{aligned}$$

Esto da como resultado, número de paneles en serie está comprendido entre 17 y 20 y el número de hileras en paralelo menor a 26. La configuración elegida son 15 hileras en paralelo de 20 módulos.

Además, se comprueba que el inversor elegido es adecuado, ya que como los 15 strings en paralelo multiplicados por su intensidad máxima de cortocircuito resulta ser $143,25 A$, una cifra menor a $257 A$ y los 20 módulos que componen en string multiplicados por la máxima tensión a circuito abierto da como resultado $831 V$, una cifra menor a los 1100 que puede soportar el inversor.

12.7.4 Cálculo cableado

Se calculará tanto la parte que recorre todos los módulos hasta la combiner box, y posteriormente de dicha combiner box hasta el inversor que se encuentra dentro de la nave principal.

- Criterio térmico del campo al combiner box.

Se sigue el reglamento de baja tensión. Para las instalaciones generadoras en baja, es necesario multiplicar la intensidad de cálculo por $1,4$.

¹⁵ Coeficiente de temperatura (V/T^o)

$$I_{\text{cálculo}} = I_{CC} * 1,4 = 9,55 A * 1,4 = 13,37 A$$

Siendo “I_{cc}” intensidad de cortocircuito (escogida como intensidad máxima por seguridad) e “I_{corregida}” la intensidad corregida.

Por lo tanto, al someterla a los factores de corrección correspondientes por acción solar directa (0,9) y agrupación bajo el interior de una envolvente (0,5 para el caso más desfavorable con 7 ramales), el resultado que se obtiene es: $I_{\text{Corregida}} = \frac{13,37}{0,9*0,5} = 29,71 A$. Mirando el catálogo correspondiente a nuestro cableado, se comprueba que con una sección de 2,5 mm² se soporta esa intensidad, aunque se ha escogido 4 mm² para más seguridad.

- Criterio de caída de tensión del campo al combiner box.

Por regla, para instalaciones fotovoltaicas no puede ser superior al 2% en el recorrido, por lo que, se aplica la siguiente ecuación.

$$\Delta U = \frac{2 * I * L}{\gamma * S}$$

Siendo:

- “ΔU” la caída de tensión máxima admisible
- “I” la corriente nominal del circuito
- “L” la longitud de la línea
- “γ” para la conductividad del material a 90°X (45,5 m/ Ω mm²)
- “S” para la sección del cable

Realizando los cálculos vemos que: $\Delta U = \frac{2*9*42}{45,5*4} = 4,154 V$

Por lo tanto, observamos que en porcentaje cumple; $\Delta U(\%) = \frac{4,154}{38,5*20} * 100 = 0,53 \%$,ya que es menor al 2% exigido como máximo.

- Criterio térmico del combiner box al inversor.

$$I_{\text{cálculo}} = 1,4 * 9,55 * 20 = 238,75 A$$

Por lo que para la intensidad corregida se obtiene: $I_{\text{Corregida}} = 238,75 A$ ya que no se tiene ningún factor de corrección.

Para esta intensidad se escoge por seguridad una sección para el cable de 95 mm².

No es necesario el cálculo de caída de tensión del combiner box al inversor ya que se encuentran a pocos metros.

12.7.5 Esquema unifilar de la planta

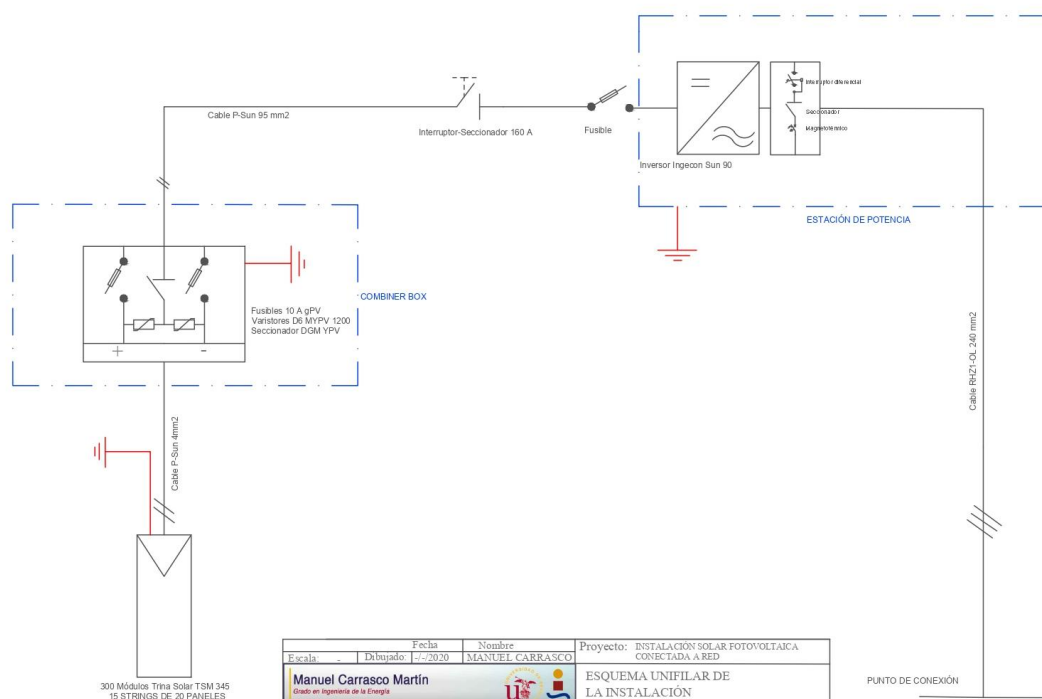


Ilustración 12-14. Esquema unifilar de la planta.

12.7.6 Viabilidad económica

Para realizar la viabilidad económica, se ha utilizado el programa PVsyst como base de datos para la radiación incidente en nuestros paneles, con la orientación y ubicación mostrada anteriormente. Los resultados han sido los siguientes:

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray MWh	E_Grid MWh	PR
Enero	69.1	30.01	6.05	95.1	88.6	8.45	8.34	0.847
Febrero	89.5	28.65	8.26	114.7	107.5	10.07	9.94	0.837
Marzo	140.2	47.63	11.65	162.8	153.2	14.06	13.88	0.824
Abril	175.3	65.82	13.71	189.6	178.4	16.19	15.98	0.814
Mayo	205.9	70.07	18.72	209.3	197.1	17.44	17.21	0.794
Junio	233.8	65.19	24.78	231.2	217.7	18.72	18.49	0.772
Julio	251.5	50.02	27.63	251.3	237.4	20.01	19.75	0.759
Agosto	215.2	54.36	26.96	226.7	213.8	18.18	17.95	0.765
Septiembre	159.1	49.61	21.75	179.3	168.8	14.79	14.61	0.787
Octubre	113.7	39.15	16.36	139.4	130.7	11.81	11.66	0.808
Noviembre	77.2	27.23	9.77	105.4	98.6	9.23	9.11	0.834
Diciembre	60.4	25.50	6.66	84.6	78.9	7.52	7.41	0.846
Año	1791.1	553.24	16.07	1909.5	1870.7	166.48	164.32	0.798

Ilustración 12-15. Datos radiación por software PVsyst. Fuente: Meteornorm.

Con los resultados de la radiación para las características de nuestro sistema, y al tratarse de un sistema subdimensionado, sólo es necesario calcular una estimación del ahorro haciendo un promedio de nuestra tarifa para cada mes, ya que sería un “ahorro por la no compra” de esa energía.

Meses	Promedio (€/kWh)	kWh producidos	Ahorro (€)
Enero	0,097079375	8450	820,321
Febrero	0,097079375	10070	977,59
Marzo	0,0760385	14060	1069,10
Abril	0,066733	16190	1080,41
Mayo	0,066733	17440	1163,83
Junio	0,0760385	18720	1423,44
Julio	0,0990675	20000	1981,35
Agosto	0,05912	18180	1074,80
Septiembre	0,0760385	14790	1124,61
Ocutubre	0,066733	11810	788,17
Noviembre	0,0760385	9230	701,84
Diciembre	0,097079375	7520	730,03

Tabla 12-27. Cálculo ahorro estimado por instalación fotovoltaica.

La suma estimada del ahorro de energía asciende a 12.935 € al año.

El presupuesto simplificado asciende a unos 70.215 €, y podemos encontrar lo siguiente:

Presupuesto	Uds/m/m ²	Precio	Total (€)
Estructura metálica de acero hecha a medida para cada panel fotovoltaico de tipo L de 30x30x4.	300	70	21000
Módulo fotovoltaico TRISA SOLAR 345 Wp	300	110	33000
Inversor Ingecon Sun 90	1	9145	9145
Conductor de 2x (1x4) mm 2 CU ZZ-F 06/1 kV P-Sun	825	1,07	882,75
Caja de conexiones de corriente continua String-Monitor de SMA	1	700	700
Interruptor seccionador de corte S5000 DC de Telergon	1	290	290
Varistor DG M YPV 1200 FM	15	7,5	112,5
Fusibles gPV NH de 200 A de df-eléctrica	15	35	525
Conductor de 2x95 mm ² 06/1 kV P-Sun	20	3	60
Mano de obra			4.500

Tabla 12-28. Presupuesto simplificado para la instalación fotovoltaica.

Con estos datos, los flujos de caja y por tanto el resultado de la inversión sería el siguiente.

AÑO	Ahorros	Pagos	Flujo de fondos	
		Inversión Desembolso inicial	Cash- Flow anual	Cash-Flow acumulado
1	12.935,43 €	-70.215,25 €	-57.279,82 €	-57.279,82 €
2	13.323,50 €		13.323,50 €	-43.956,32 €
3	13.723,20 €		13.723,20 €	-30.233,12 €
4	14.134,90 €		14.134,90 €	-16.098,22 €
5	14.558,94 €		14.558,94 €	-1.539,28 €
6	14.995,71 €		14.995,71 €	13.456,43 €
7	15.445,58 €		15.445,58 €	28.902,01 €
8	15.908,95 €		15.908,95 €	44.810,97 €
9	16.386,22 €		16.386,22 €	61.197,19 €
10	16.877,81 €		16.877,81 €	78.074,99 €
Total	148.290,24 €	-70.215,25 €	78.074,99 €	

Tabla 12-29. Flujos de caja planta fotovoltaica.

Como vemos, el periodo de retorno de inversión es de 6 años, y con un pequeño cálculo, sabemos que la TIR de este proyecto a 10 años es de 20,66 %.

13 BIBLIOGRAFÍA

1. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), informe de tarifas eléctricas 2019.
2. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final. https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf
3. BOE (boletín oficial del estado), del 6/2001, tarifa de 6 periodos.
4. UNE 12464.1, normativa sobre la iluminación para interiores.
5. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España para el año 2017.
6. Guerra Macho José Julio y Pino Lucena Francisco Javier, Transmisión de calor. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2017-2018.
7. Velázquez Alonso David, Tecnología energética. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2018-2019.
8. Statista. Datos e indicadores de 600 sectores. <https://es.statista.com/>
9. OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía). <https://www.omie.es/>

GLOSARIO

IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía	4
UNE: Una Norma Española	4
Boe: Boletín Oficial del Estado	11