



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN UNA PLANTA DE AUTOMOCIÓN

Autor: Marcos Roa Escobar

Directora: María del Mar Cledera Castro

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Junio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y.....

ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN UNA PLANTA DE MOTOCIÓN

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

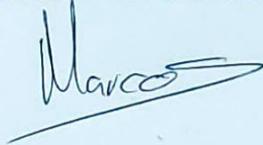
curso académico 2020/2021. es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada

de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Marcos Roa Escobar

Fecha: 21 / 06 / 21



Autorizada la entrega del proyecto

LOS DIRECTORES DEL PROYECTO

Fdo.: Carlos Morales Polo

Fecha: / /



Firmado digitalmente
por Carlos Morales
Polo
Fecha: 2021.06.23
12:57:42 +02'00'

Fdo.: María del Mar Cledera Castro

Fecha: / /



Firmado digitalmente
por Maria del Mar
Cledera Castro
Fecha: 2021.06.23
11:36:38 +02'00'



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN UNA PLANTA DE AUTOMOCIÓN

Autor: Marcos Roa Escobar

Directora: María del Mar Cledera Castro

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Junio de 2021

SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN UNA PLANTA DE AUTOMOCIÓN

Autor: Roa Escobar, Marcos.

Director: Morales Polo, Carlos.

Directora: Cledera Castro, María del Mar.

**Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas – Cátedra de
Transición Energética.**

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción.

Planteamiento del problema y objetivos del proyecto

Este proyecto se realiza con el fin de mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto medioambiental de una fábrica de coches en España, para ello se implantarán una serie de medidas tecnológicas en dicha fábrica y se evaluará la reducción del consumo energético y de combustibles fósiles (y por lo tanto la reducción de las emisiones) tras la implantación.

Los procesos de la fábrica que se verán afectados por estas mejoras son los de chapa, pintura y montaje, y el proyecto se dividirá en las siguientes etapas:

- Un análisis de ciclo de vida para el estudio del impacto medioambiental. Se hará uno previo a la instalación de las tecnologías (No incluido en este proyecto), y otro posterior, con las tecnologías ya implementadas, con el fin de estudiar la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.
- El dimensionamiento y la implementación de una serie de medidas de autoconsumo basado en energía solar. Estas medidas tecnológicas serán unos colectores solares de tubo de vacío, y tecnología del tipo Fresnel (energía solar térmica de concentración). Además del dimensionamiento e implementación, se realizará un análisis económico para estudiar su viabilidad.
- Un estudio para implementar unas bombas de calor que, reutilizando calores residuales de ciertos focos de la propia fábrica, aporten calor a el proceso de pintura de los vehículos. Al igual que en el caso de la tecnología solar, se realizará una evaluación económica.

Estado de la tecnología

Colector solar de tubo de vacío

El colector solar de tubo de vacío es un tipo de colector solar cuya fuente de energía es la solar térmica. Está formado por colectores lineales dispuestos de forma paralela y alojados en tubos de vidrio al vacío. Estos tubos están conectados de forma perpendicular a un mástil que conduce el fluido portador del calor, generalmente agua. En general los tubos son más eficientes en días fríos, ventosos o nubosos, para mantenerlos refrigerados y que no tengan fallos o malfuncionamientos por el excesivo calor.



Ilustración 1. Esquema de un colector solar de tubo de vacío. [1]

Presentan ciertas ventajas con respecto a los colectores planos, por ejemplo, la reducción de las pérdidas por convección, en los tubos de vacío, al estar aislados, se reduce en torno a un 5%. Y al ser numerosos tubos, esto supone un ahorro de hasta un 35%

Existen dos tipos de sistemas según este dispuesto el circuito. Directos (bucle abierto) o indirectos (bucle cerrado) [2].

En los sistemas de circuito directo, el fluido de trabajo circula por el colector y el tanque de almacenamiento sin intercambio de calor, y se utiliza agua como fluido de trabajo. Este tipo de circuito es utilizado en regiones donde no existen problemas de congelación.

En los sistemas de circuito indirecto, si que se produce un intercambio de calor y se utiliza un fluido intermedio con bajos puntos de congelación. Este tipo de sistemas está pensado para regiones con climas fríos, además, al no usar agua en todo el circuito, se previene la calcificación y la corrosión.

En este proyecto, se utilizará el circuito de tipo directo.

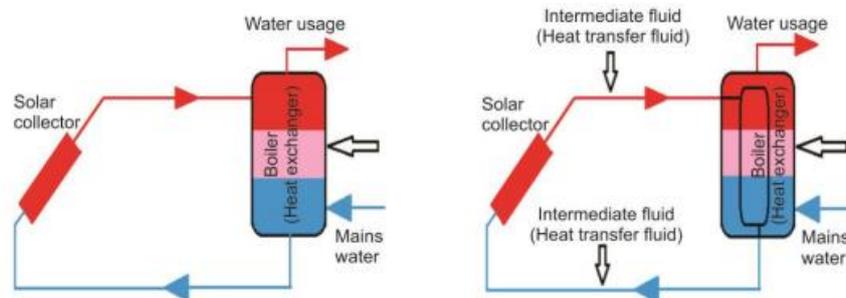


Ilustración 2. Comparación de los sistemas directo e indirecto.[3]

Energía solar térmica de concentración

La energía solar térmica de concentración (CSP por sus siglas en inglés *Concentrated Solar Power*) está basada en el concepto de utilizar la radiación solar para producir aire o agua a grandes temperaturas, que puede usar posteriormente para generar electricidad, o como aporte de calor a otros procesos. Utiliza espejos para concentrar los rayos del sol sobre una superficie pequeña sobre la que circular la sustancia a calentar.[4]

Actualmente existen cuatro tipos de tecnologías de concentración. [5]

- Sistemas de plato parabólico
- Colector cilindro-parabólico
- Reflector lineal Fresnel
- Torres de energía solar

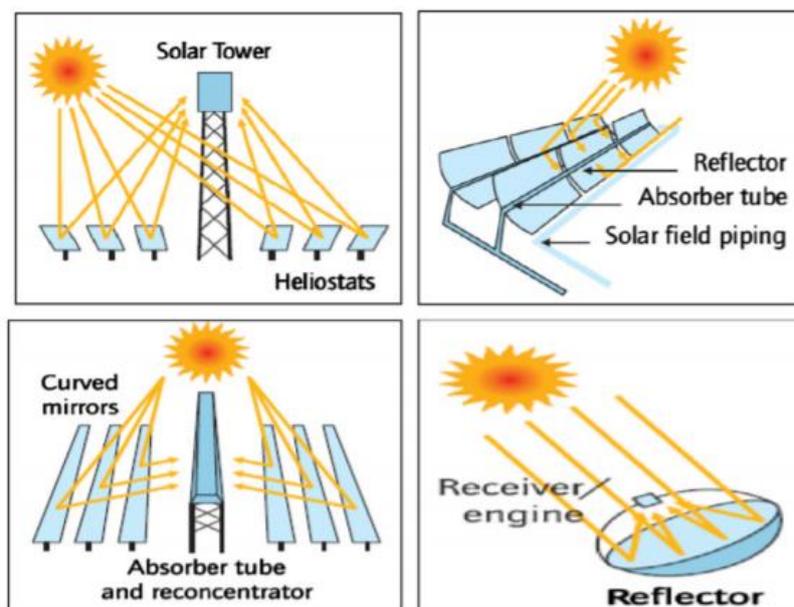


Ilustración 3. Tipos de tecnologías de concentración solar [6]

Este proyecto utilizará los reflectores lineales Fresnel. Este tipo de tecnología está fabricado con muchas tiras de espejos delgados y planos que concentran la luz del sol sobre unos tubos por lo que circula el fluido a calentar.

Bombas de calor

Una bomba de calor es una maquina termodinámica formada por un circuito frigorífico clásico (Sistemas de expansión y compresión, evaporador y condensador) del que se aprovecha el calor cedido por el condensador (generalmente agua caliente que sale de este, aunque también puede ser aire) a partir de la fuente fría que absorbe el evaporador (generalmente agua de un rio o pozo). En la siguiente imagen se puede ver el ciclo clásico de funcionamiento de una bomba de calor. [7]

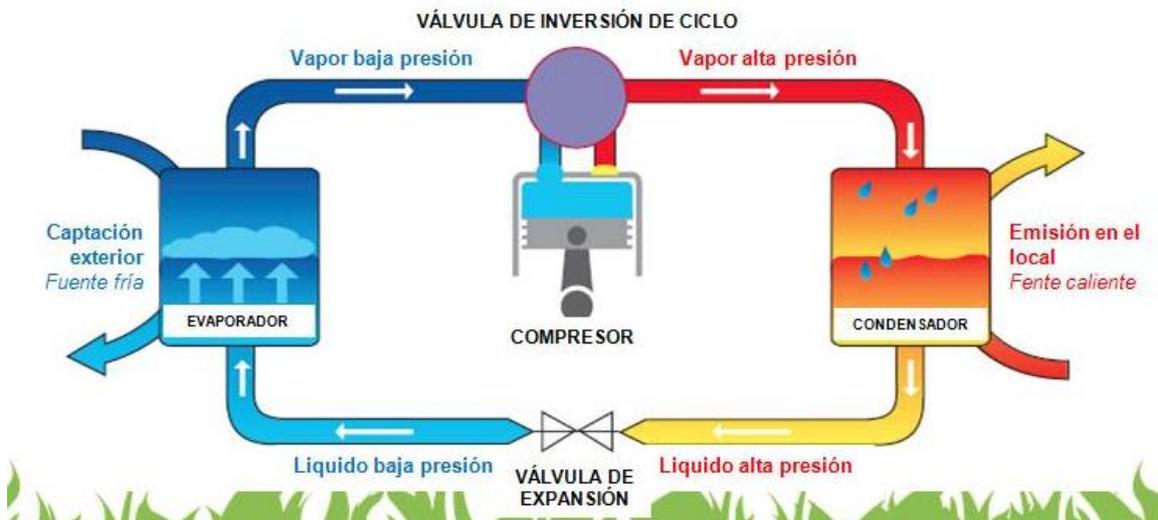


Ilustración 4. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor [8]

Durante el proceso de evaporación, se sustrae energía del ambiente en forma de calor. Este calor es absorbido por el fluido frigorífico, que pasa de estado líquido a gaseoso, ocurriendo este cambio de estado a presión constante.

El compresor sirve para comprimir el fluido frigorífico (ahora en estado de vapor) llegando incluso a licuarlo y lo conduce hacia el condensador donde se licua completamente liberando el calor previamente absorbido (Q_c)

En la fase de condensación, se libera la energía al medio que se pretende calentar, ya sea doméstico, industrial o comercial.

A la salida del condensador el fluido se dirige hacia el sistema de expansión, generalmente una válvula o tubo capilar, donde se produce la expansión convirtiéndose en vapor húmedo. Este vapor retorna al evaporador a una presión inferior a la de licuefacción donde, para evaporar su fracción líquida, debe absorber una cantidad de calor del medio (Q_o)

El calor total cedido, será igual al calor absorbido más el trabajo mecánico del compresor.

Uno de los factores que hace que de las bombas de calor un sistema tan eficiente e interesante es el hecho de que la cantidad de energía consumida para hacer funcionar el compresor (generalmente un motor eléctrico) es, en general, mucho más pequeña que la energía desprendida por el condensador.

Análisis de ciclo de vida.

La historia de los estudios de análisis de ciclo de vida es relativamente reciente. El (quizá) primer LCA de la historia ocurrió en 1963, lo realizó Harold Smith sobre la producción de productos químicos. Poco después la famosa empresa Coca Cola, realizó su propio estudio para encontrar el mejor envase para su bebida. En 1989, aparece el primer software para el análisis de ciclo de vida, GaBi, y al año siguiente SimaPro es desarrollado. Ese mismo año se acuña el termino Análisis de Ciclo de Vida y es a partir de ahí cuando empiezan a aparecer todos los estándares que regulan esta clase de estudios hoy en día. ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000) ...

Desde que se consagraron los estudios de LCA, han ido apareciendo numerosas librerías y bases de datos que han facilitado la aparición de proyectos de este tipo.

Sin embargo, realizar el estudio de una flota de vehículos siempre ha sido muy complicado, requiere demasiado detalle, por ello se utiliza un método alternativo para modelar la producción de un vehículo, y es usar un vehículo estándar [9]. Algunos agentes importantes del sector automotriz, han publicado la lista de componentes de alguno de sus vehículos, por ejemplo, el LCI (life cycle inventory) del Volkswagen Golf A4, publicado por la propia empresa y disponible en [10], se proporciona una lista de inventario de ciclo de vida completo sobre los materiales utilizados para producir el automóvil Volkswagen. Y ya se han realizado estudios y artículos en base a esta base de datos creada por Volkswagen [11].

Realmente el proceso de fabricación de un vehículo representa menos del 1% de su impacto de ciclo de vida, pero siendo el sector transporte y el sector industrial, dos de los principales agentes emisores de gases de efecto invernadero [12], un proyecto orientado a reducir los consumos de combustibles fósiles, ayudará a lograr los objetivos de la agenda 2030 y hacer de este mundo un lugar mejor

Descripción del modelo desarrollado

Motivación

La sostenibilidad y el cuidado del medioambiente son una preocupación creciente en todas las civilizaciones de la tierra. La sociedad avanza hacia una relación con el planeta más sana, donde ya no se ve la tierra como una fuente de recursos inagotables, si no como un sistema finito y frágil que hay que cuidar y respetar para poder garantizar la supervivencia de la especie humana.

Con este fin nacen términos como la economía circular, cuyo principio fundamental es reducir las materias primas entrantes en los procesos humanos, procedentes del medioambiente, así como mitigar la producción de desechos, imitando así los sistemas naturales en los que todo se aprovecha y tiene valor por si mismo.

El análisis de ciclo de vida es una herramienta muy útil a la hora de determinar las salidas y entradas de material en un proceso productivo o servicio. Esta herramienta puede ayudar a una empresa a saber cuál es su impacto medioambiental y empezar a reducirlo.

El sector automovilístico, representa, en la actualidad, en la unión europea, más del 70% de las emisiones totales de los gases de efecto invernadero procedentes del transporte,[13] por lo que su estudio y optimización es de vital importancia para acercarnos más a este objetivo de desarrollo sostenible y economía circular.

El estudio del análisis de ciclo de vida en la fábrica de coches de Madrid objeto del estudio, ayudará a la reducción de sus impactos y podrá servir como ejemplo para otras fábricas y fomentar así la optimización de procesos y la reducción del impacto medioambiental de otros competidores del sector.

Además, junto a estas mejoras medioambientales viene una mejora económica, al reducir desperdicios en la fábrica y mejorar su eficiencia, inevitablemente se reducirán pérdidas de dinero. Prueba fehaciente de que la ecología es una inversión factible a largo plazo

Recursos a emplear

SimaPro

Existen diferentes softwares para la generación de análisis de ciclo de vida. Entre ellos se encuentra OpenLCA, SimaPro o GaBi [14]. La elección de un programa u otro es muy importante en función a las funciones y bases de datos que desees. Por las exigencias de este proyecto, se ha optado por utilizar la herramienta de SimaPro.

SimaPro [15] es un software con más de 30 años en el mercado y con presencia en más de 80 países. Las empresas lo aplican en diferentes ámbitos como informes de sostenibilidad, diseño de producto, medición de huella hídrica y de carbono... Con SimaPro se puede

- Modelar y analizar fácilmente ciclos de vida complejos de forma sistemática y transparente.
- Medir el impacto medioambiental de diferentes productos y servicios en todas las etapas del ciclo de vida.
- Identificar los puntos críticos en cada eslabón de la cadena de suministro, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación, distribución, uso y eliminación.

SimaPro hace uso de una gran cantidad de bases de datos para analizar procesos o materiales, entre las que se encuentran (Agri-footprint, ELCD, ecoinvent, EXIOBASE, Environmental Footprint databes...)

Polysun

Polysun es un software de gama alta orientado a la planificación, el diseño y la optimización de sistemas de producción energética [16]. En el caso de este proyecto, se va a utilizar para dimensionar los tubos de vacío que sustituirán al gas natural en la producción de calor. A través de este programa se simularán los consumos y la instalación a dimensionar.

Ressspi

Ressspi es un software de código abierto para la simulación de instalaciones y aplicaciones solares. Ressspi es una calculadora online, desarrollada en Python 3, desarrollada para establecer un marco común en el benchmarking de tecnologías de concentración solar. Es capaz de estimar tanto la producción energética como aspectos financieros, además, es muy flexible en su simulación y posee una gran potencia pese a ser un programa gratuito.[17]

En este proyecto será utilizado para dimensionar los colectores de concentración (captadores solares térmicos de concentración lineal, tipo Fresnel, proporcionados por la empresa SOLATUM, misma empresa que desarrolla el software Ressspi).

Resultados.

Colector solar de tubo de vacío

Esta tecnología sería utilizada para alimentar los sistemas de calefacción de la fábrica. Para ello se utilizó la herramienta de POLYSUN. Tras una serie de iteraciones y de decisiones técnicas, buscando siempre adaptarse a las necesidades de la fábrica y obteniendo la mayor eficiencia al menor coste, se obtuvieron los siguientes resultados.

Overview solar thermal energy (annual values)

Collector area	18.4 m ²
Solar fraction total	50.3%
Total annual field yield	5,348.4 kWh
Collector field yield relating to gross area	291.3 kWh/m ² /Year
Collector field yield relating to aperture area	454.6 kWh/m ² /Year
Max. fuel savings	566 m ³ (gas): [Natural gas H]
Max. energy savings	5,942.6 kWh
Max. reduction in CO2 emissions	1,376 kg

Ilustración 5. Resumen resultados del colector solar de tubo de vacío

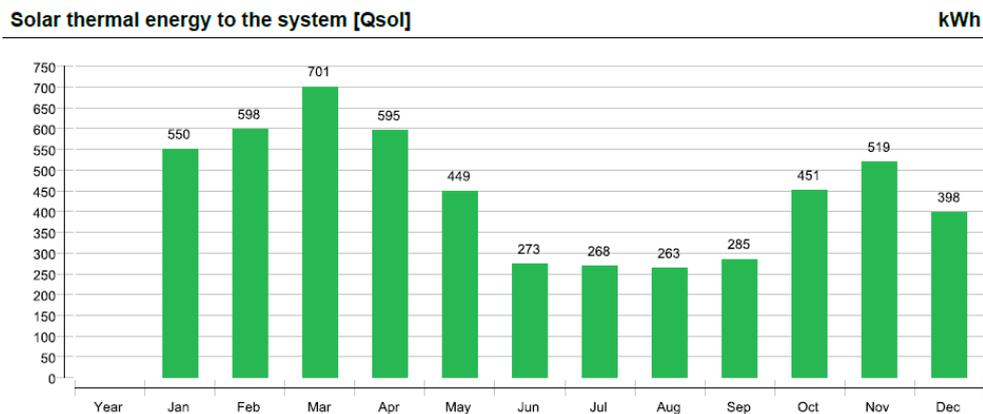


Ilustración 6. Aportación solar por meses al sistema

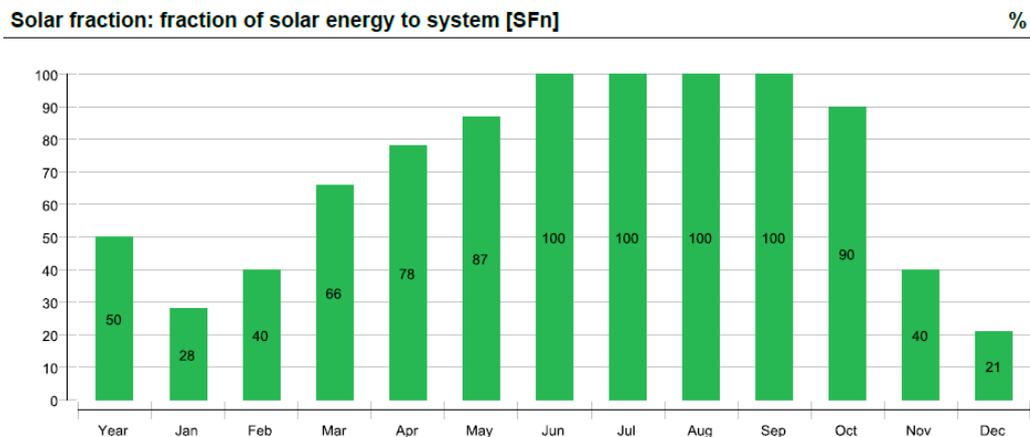


Ilustración 7. Porcentaje de energía solar que se aporta al sistema, por meses

Como era de esperar cuando menos energía se aporta es en los meses de verano, siendo el 100% de esta, de tipo solar. Esto es debido a que en estos meses es cuando más se puede aprovechar este tipo de energía, sin embargo es cuando no se necesitan los sistemas de calefacción.

Energía solar térmica de concentración

Esta tecnología se utiliza para aportar el calor necesario a los procesos de pintura. El dimensionamiento se realizó con la herramienta RESSPI, y tras una serie de iteraciones, buscando siempre el objetivo de suplir un 20% de la demanda, con la menor inversión y el periodo de retorno más rápido, se obtuvieron los siguientes resultados

Resumen de resultados

Ahorro solar año 1: 141002 €/año	% Ahorro combustible: 20.4%	
Factura actual: 553050.0 €/año	Coste combustible actual: 0.0 €/kWh	
Inversión: 1684805.8 €	TIR: 10.4 %	Retorno: Año 11
Campo solar: 6336 m ²	Producción energía: 3618786.6 kWh/año	CO2 evitado: 723.8 Ton/año

Ilustración 8. Resumen de resultados de la energía solar térmica de concentración

Para más detalle sobre los resultados, consultar la memoria del proyecto

Bombas de calor

Tras una evaluación se concluyó que se utilizarían 3 bombas para reutilizar el calor de cierto foco emisores de la fábrica que presentaban características similares. Las bombas serían adquiridas directamente a los fabricantes sin necesidad de dimensionar bombas propias, por lo que se procedió a la evaluación económica, obteniendo los siguientes resultados.

Resultados Técnicos		
Ahorro de gas	1710	kW
CO2 Evitado	1102	Ton/año
CO2 emitido por el uso de las bombas	-500,803	Ton/año
CO2 evitado neto	601,197	Ton/año

Ilustración 9. Resultados técnicos

Resultados Económicos		
VAN	447.049,85 €	€
IRR	18,16%	€
Periodo Ret.	6,41	años

Ilustración 10. Resultados Económicos

A continuación, una tabla que muestra los días laborables en cada mes, así como los consumos de los hornos de pintura y de la Central Térmica. La última columna muestra el porcentaje de los kW que cubren las bombas con respecto al total de los hornos de pintura.

Días laborables	Mes	Hornos Pintura	CT - PCI		% Reducción
17	Enero	1.745.095	2.182.306	kWh	26,65%
19	Febrero	1.992.222	2.248.169	kWh	26,09%
18	Marzo	1.877.918	1.644.304	kWh	26,22%
21	Abril	2.146.097	864.163	kWh	26,77%
20	Mayo	1.953.799	0	kWh	28,01%
22	Junio	2.216.319	0	kWh	27,16%
16	Julio	1.595.193	0	kWh	27,44%
12	Agosto	1.266.973	0	kWh	25,91%
22	Septiembre	2.381.964	0	kWh	25,27%
15	Octubre	1.539.678	11.723	kWh	26,65%
20	Noviembre	2.106.669	2.120.859	kWh	25,97%
14	Diciembre	1.492.795	1.708.857	kWh	25,66%

Ilustración 11. Porcentaje de reducción de consumo de gas con las bombas en serie [Fuente propia]

Análisis de ciclo de vida.

El proceso que más se vio afectado por la implementación de las tecnologías fue el de la pintura, en la siguiente imagen se puede ver el consumo total de energía en este proceso, así como el reparto de las diferentes fuentes de aportación energética, antes y después de la implementación. Como se puede ver en los diagramas de Pareto, el consumo total pasa de 3,15 GJ por coche, a tan solo 2,6 GJ. Y el porcentaje de energías renovables en el mix, aumenta de cerca del 3% a un 12% del total. Esto es el resultado de combinar la energía solar, con la reutilización de calores que hacen las bombas de calor.

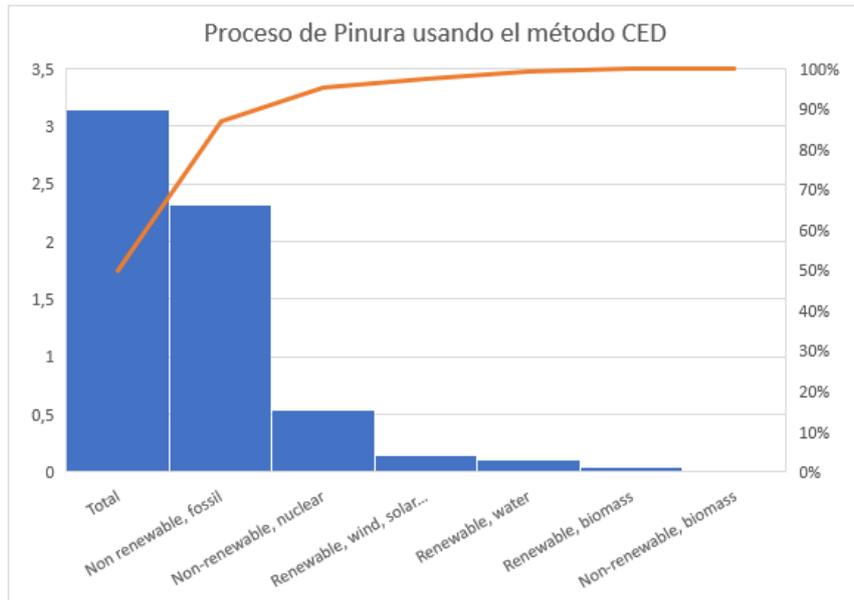


Ilustración 12. Consumo energético proceso de pintura sin mejoras tecnológicas

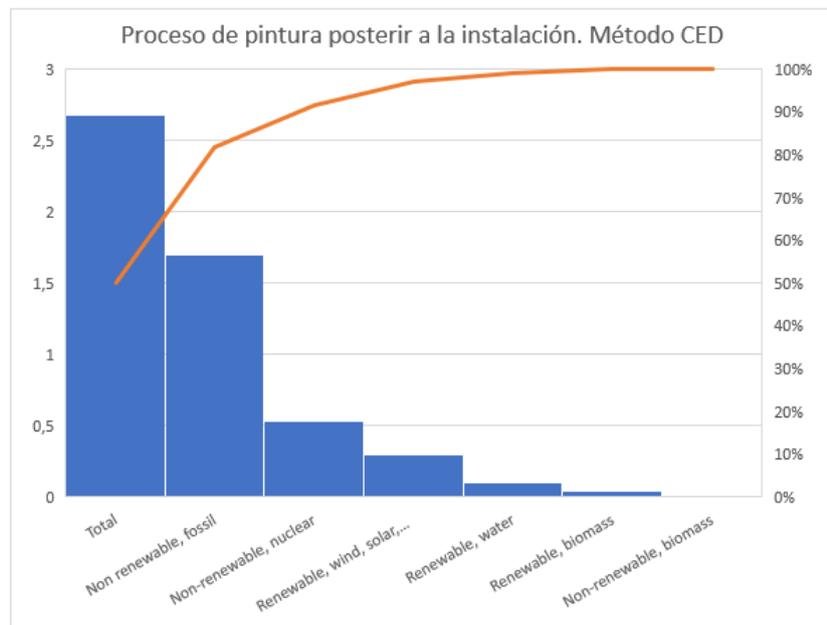


Ilustración 13. Consumo energético proceso de pintura con mejoras tecnológicas

Por último, se va a ver la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. La instalación de los colectores solares SOLATOM [18], supone una reducción de las emisiones de CO₂ de 723.8 Ton/año. Y el uso de las bombas, evita que se emitan a la atmosfera 600.9 Ton/año de este mismo gas (esto sería la resta del CO₂ evitado al reducir el consumo de gas, menos el CO₂ generado al alimentar las bombas con electricidad)

Con todo ello, se reduce en un total de 1324,7 Ton/año las emisiones de CO2 (y esto solo en la zona de los hornos de pintura, no se está teniendo en cuenta los colectores solares de tubo de vacío que se utilizarán para la climatización)

De acuerdo con la Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, el factor de emisión del gas natural es de 2,15 kg de CO2/Nm3 [19] y según GASNAM [20], la densidad del mismo es de 0,743 kg/ Nm3, es decir, se producen 2,9 kg de CO2, por cada kg consumido de Gas Natural. Por lo que si se consumen 24 kg de Gas Natural por cada coche producido, y en un año estándar se producen 82.000 coches, esta fábrica consume 1,968 millones de kg de Gas natural al año, lo que implica unas emisiones de 5.707,2 toneladas de CO2 al año.

Por lo tanto.

$$\frac{1324.7}{5707.2} = \mathbf{23,21\%}$$

La implementación de estas medidas supone una reducción de las emisiones totales de un 23,21%. Una mejora significativa que acercará a esta empresa a los objetivos de sostenibilidad de la agenda 2030, que le permitirá seguir realizando su actividad a la vez que protegen el medio ambiente y que sin duda les dará una publicidad positiva con respecto a posibles clientes interesados en sus coches.

Conclusiones.

A continuación se recogen algunas de las conclusiones que se han ido obteniendo a lo largo de la realización del proyecto.

- La fabricación de un vehículo supone un porcentaje muy pequeño de su impacto medioambiental de ciclo de vida. Dentro del proceso de fabricación, a su vez, la parte de pintura, es otra pequeña parte, y dentro de esta parte de pintura, se ha conseguido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 23%, lo cual, a nivel global de todo el ciclo de vida de un vehículo, supondrá una muy pequeña mejora.

- Existen la posibilidad de aumentar el tamaño de las mejoras en el futuro. La fábrica dispone de una parcela enorme donde podrían implantarse más paneles solares, además, se desperdician numerosos focos de calor que se podrían aprovechar para alimentar otras partes del proceso de fabricación de coches o para aclimatar diferentes zonas de la fábrica.
- La inversión inicial para conseguir esta mejora es importante. Las energías renovables como la solar, actualmente tienen un precio elevado que hace que algunos proyectos sean inviables, sin embargo, solo mediante la inversión en este sector y el desarrollo de proyectos como este, se conseguirá reducir los precios de las energías renovables y ampliar su viabilidad y su implementación.
- Con todo, esta fábrica obtendrá muy buenas conclusiones de este proyecto, tendrá que hacer una inversión inicial importante, pero como se ha visto, en menos de 10 años habrá recuperado la inversión y estará obteniendo beneficio. Además, mejorará su imagen de cara al público, lo que le aportará un nuevo abanico de clientes que motivados por el compromiso medioambiental de la empresa, no dudará en adquirir sus productos. Y por último, y más importante, su aportación ayudará a acercar a la sociedad a la tan ansiada transición energética, haciendo de este mundo un lugar mejor, más seguro y más limpio.
- Con respecto al análisis de ciclo de vida, es una potente herramienta que ayuda a clarificar los diferentes impactos que tiene un producto o un proceso a lo largo de su vida útil, sin embargo, a la hora de analizar un proceso, puede resultar una herramienta limitada, puesto que el alcance puede ser complicado de establecer, o no lo suficientemente grande como para tener en cuenta todos los factores. Esta herramienta puede resultar más útil por lo tanto en productos en vez de en procesos, por la mayor facilidad de definir el alcance.
- Con respecto a las tecnologías solares cabe destacar su enorme potencial. Queda mucho que mejorar en este sector en cuanto a eficiencia y es verdad que es un tipo de energía que se ve neutralizada si las condiciones climáticas no son favorables, pero su potencial es enorme, y con la investigación adecuada, podrían lograrse números mucho más impresionantes y ahorros de electricidad mucho más atractivos.

Referencias.

- [1] J. P. Vargas Bautista, P. Yampasi Espejo, X. Tirado Villarroel, y A. Patzi, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO: ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO», *Investig. Amp Desarro.*, vol. 1, n.º 16, pp. 49-60, 2016.
- [2] A. W. Badar, R. Buchholz, Y. Lou, y F. Ziegler, «CFD based analysis of flow distribution in a coaxial vacuum tube solar collector with laminar flow conditions», *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 3, n.º 1, p. 24, sep. 2012, doi: 10.1186/2251-6832-3-24.
- [3] H. Yildizhan y M. Sivrioğlu, «Exergy analysis of a vacuum tube solar collector system having indirect working principle», 2017, doi: 10.2298/TSCI150905009Y.
- [4] H. Müller-Steinhagen y F. Trieb, «Concentrating solar power», [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenia.org.uk/getattachment/Ingenia/Issue-18/Concentrating-solar-power-A-review-of-the-technolo/Muller%E2%80%93Steinhagen.pdf>
- [5] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. Degreève, y G. Cacères, «Concentrated solar power plants: Review and design methodology», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 466-481, jun. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.01.032.
- [6] «El crecimiento de la energía solar en India liderado por la FV pone la mirada en los proyectos CSP | Reuters Events | Renewables». <https://www.reutersevents.com/renewables/csp-es/el-crecimiento-de-la-energia-solar-en-india-liderado-por-la-fv-pone-la-mirada-en-los> (accedido jun. 10, 2021).
- [7] R. M. JAVIER FRANCISCO y V. G. ELOY, *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. Editorial Paraninfo, 2005.
- [8] «¿Que es y como funciona una Bomba de Calor?», *Tecnoverde*. <https://tecnoverde.cl/que-es-y-como-funciona-una-bomba-de-calor/> (accedido jun. 10, 2021).
- [9] M. Pierini, M. Delogu, y F. DelPero, «Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car», *Elsevier B.V.*, p. 17.
- [10] G. W. Scheweiner y M. Levin, «Life Cycle Inventory for the Golf A4», Accedido: feb. 07, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.pdfFiller.com/jsfiller-desk12/?requestHash=9fe5427ddc6da972b720c987c12226f1f76dc7dd325962ff6ecc1290c2ae1c97&lang=es&projectId=638043726#ee39cc606e7f90b19a1f8fa824591c1d>
- [11] C. Y. Yuan, R. Simon, N. Mady, y D. Dornfeld, «Embedded temporal difference in Life Cycle Assessment: Case study on VW Golf A4 CAR», *IEEE*, 2009, doi: 10.1109/ISSST.2009.5156731.
- [12] N. Mirjat, M. Uqaili, K. Harijan, G. Valasai, F. Shaikh, y M. Waris, «A review of energy and power planning and policies of Pakistan», *Rev. Energy Power Plan. Políticas Pak.*, vol. 79, pp. 110-127, may 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.040.
- [13] Agencia Europea de Medio Ambiente, «Aspectos destacados por la AEMA sobre el medio ambiente europeo». nov. 15, 2008. Accedido: feb. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/downloads/a3bace77fb467439ed9fb44fcbf9d349/1583422375/intro.pdf>
- [14] D. Silva, A. Nunes, V. Moris, C. Piekarski, y T. Rodrigues, *How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto*. 2017.
- [15] «SimaPro | The world's leading LCA software», *SimaPro*. <https://simapro.com/> (accedido feb. 05, 2021).
- [16] B. Lacoste, A. Wolf, A. Witzig, y A. Maerklin, «Polysun. PV, wind and power-heat-cogeneration in one design tool», jul. 2010, Accedido: mar. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21341935>
- [17] M. Frasquet, J. bannenber, M. Silva, y Y. Nel, «RESSSPI: The Network of Simulated Solar Systems for Industrial Processes», en *Proceedings of EuroSun 2018*, Rapperswil, CH, 2018, pp. 1-9. doi: 10.18086/eurosun2018.08.04.

- [18] «SolatomCSP». <https://www.solatom.com/> (accedido may 02, 2021).
- [19] Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental, y del Cambio Climático, «GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)». mar. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
- [20] GASNAM y SEDIGAS, «Tabla Equivalencias gas natural». [En línea]. Disponible en: http://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Tabla_equivalencias_GASNAM_SEDIGAS.pdf

**ENERGY EFFICIENCY SOLUTIONS AND LIFE CYCLE ANALYSIS
IN AN AUTOMOTIVE PLANT**

Author: Roa Escobar, Marcos.

Director: Morales Polo, Carlos.

Director: Cledera Castro, María del Mar.

**Collaborating Entity: ICAI - Pontifical University of Comillas - Chair of Energy
Transition.**

PROJECT ABSTRACT

Introduction.

Statement and objectives of the problem

This project is carried out in order to improve energy efficiency and reduce the environmental impact of a car factory in Spain, for which a series of technological improvements will be implemented in the factory, and the reduction of the consumption of energy and fossil fuels will be evaluated.

The factory processes that will be affected by these improvements are sheet metal, painting and assembly, and the project will be divided into the following stages:

- A life cycle analysis to study the environmental impact. One will be done prior to the installation of the technologies (not included in this project), and another later, with the technologies already implemented, in order to study the reduction of greenhouse gas emissions.
- The sizing and implementation of a series of self-consumption measures based on solar energy. These technological measures will be vacuum tube solar collectors and Fresnel-type technology (concentrating solar thermal energy). In addition to sizing and implementation, an economic analysis will be carried out to study its viability.
- A study to implement heat pumps that provide heat to the painting process of vehicles by reusing residual heat from certain sources in the factory itself. An economic evaluation will be carried out as well.

State of technology

Vacuum tube solar collector

The vacuum tube solar collector is a type of solar collector whose energy source is solar thermal. It is made up of linear collectors arranged in parallel and housed in vacuum glass tubes. These tubes are connected perpendicular to a mast that conducts the heat transfer fluid (generally water). Usually, the tubes are more efficient on cold, windy or cloudy days, to keep them cool so that they do not have failures or malfunctions due to excessive heat.



Illustration 1. Schematic of a vacuum tube solar collector.[1]

They have certain advantages over flat collectors, for example, the reduction of convection losses in vacuum tubes, being insulated, is reduced by around 5%. And as there are many tubes, this means savings of up to 35%

There are two types of systems depending on the circuit arrangement. Direct (open loop) or indirect (closed loop)[2].

In direct loop systems, the working fluid circulates through the collector and storage tank without heat exchange, and water is used as the working fluid. This type of circuit is used in regions where there are no freezing problems.

In indirect circuit systems, there is a heat exchange and an intermediate fluid with low freezing points is used. This type of system is designed for regions with cold climates, in addition, by not using water in the entire circuit, calcification and corrosion are prevented.

In this project, the direct type of circuit will be used.

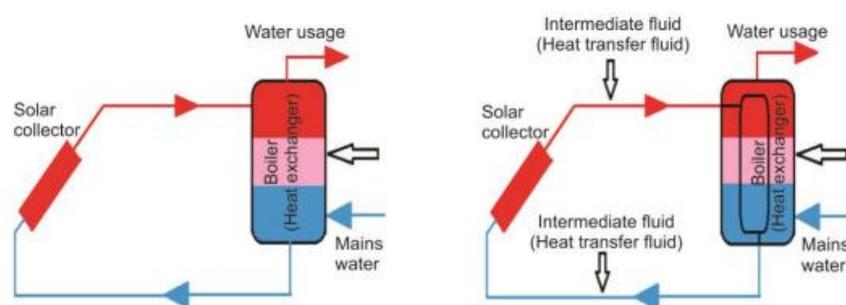


Illustration 2. Comparison of direct and indirect systems.[3]

Concentrating solar thermal energy

Concentrated Solar Power (CSP) is based on the concept of using solar radiation to produce air or water at high temperatures, which you can later use to generate electricity, or as heat input to other processes. It uses mirrors to concentrate the sun's rays on a small surface on which to circulate the substance to be heated.[4]

There are currently four types of concentration technologies. [5]

- Parabolic dish systems
- Parabolic trough collector
- Fresnel linear reflector
- Solar power towers

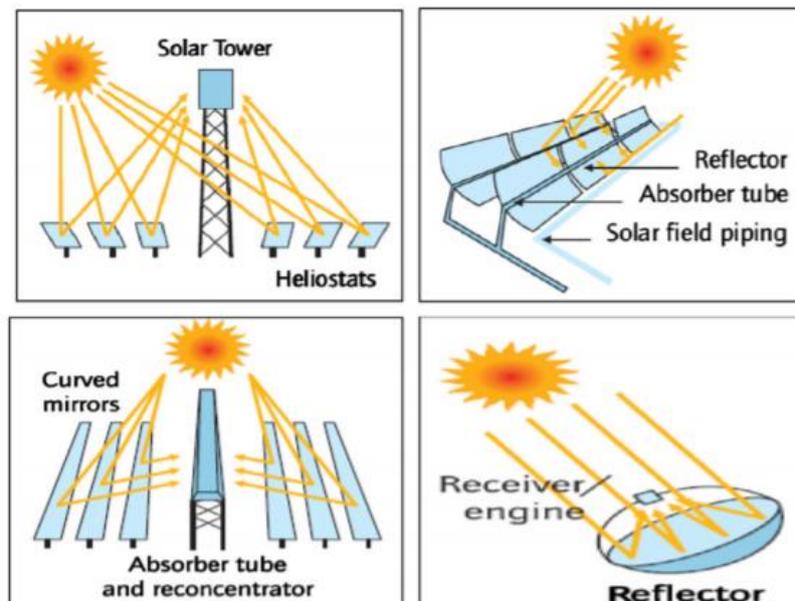


Illustration 3. Types of concentrating solar technologies[6]

This project will use linear Fresnel reflectors. This type of technology is manufactured with many strips of thin and flat mirrors that concentrate the sunlight on some tubes through which the fluid to be heated circulates.

Heat pumps

A heat pump is a thermodynamic machine formed by a classic refrigeration circuit (expansion and compression systems, evaporator, and condenser) from which the heat transferred by the condenser is used (generally hot water that comes out of it, although it

can also be air) from the cold source absorbed by the evaporator (generally water from a river or well). In the following image you can see the classic cycle of operation of a heat pump.[7]

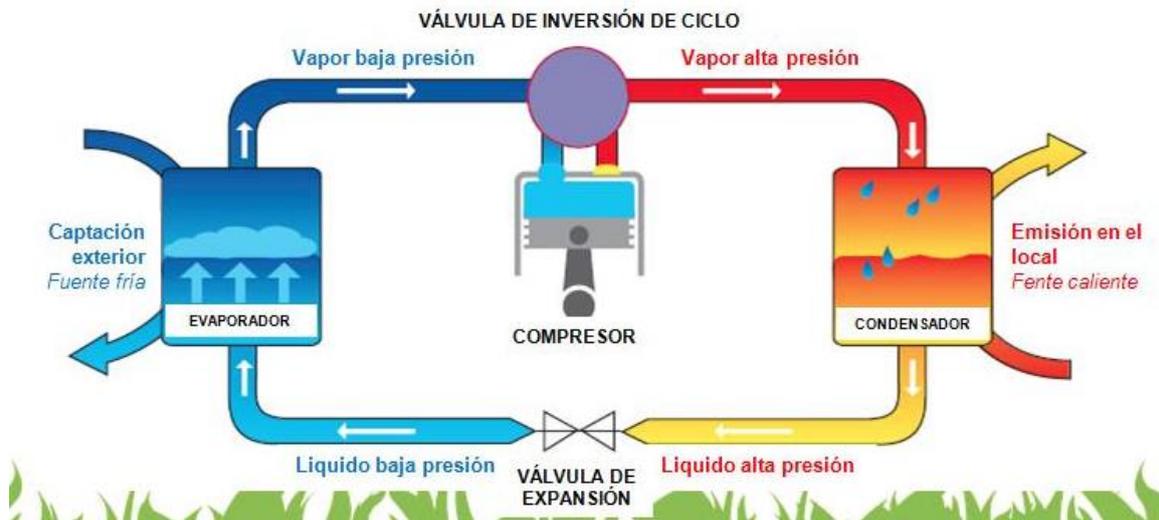


Illustration 4. Operation diagram of a heat pump[8]

During the evaporation process, energy is withdrawn from the environment in the form of heat. This heat is absorbed by the refrigerant fluid, which goes from a liquid to a gaseous state, with this change of state occurring at constant pressure.

The compressor serves to compress the refrigerant fluid (now in a vapor state), even liquefying it and conducting it to the condenser where it completely liquefies releasing the previously absorbed heat (Q_c)

In the condensation phase, the energy is released to the medium to be heated, be it domestic, industrial, or commercial.

At the condenser outlet, the fluid is directed towards the expansion system, generally a valve or capillary tube, where the expansion takes place, turning into humid vapor. This vapor returns to the evaporator at a pressure lower than that of liquefaction where, to evaporate its liquid fraction, it must absorb a quantity of heat from the medium (Q_o)

The total heat transferred will be equal to the heat absorbed plus the mechanical work of the compressor.

One of the factors that makes heat pumps such an efficient and interesting system is the fact that the amount of energy consumed to run the compressor (usually an electric motor) is, in general, much smaller than the energy detached by the condenser.

Life cycle analysis.

The history of life cycle analysis studies is relatively recent. The (perhaps) first LCA in history occurred in 1963, performed by Harold Smith on the production of chemicals. Shortly after, the famous Coca Cola company, carried out its own study to find the best container for its drink. In 1989, the first software for life cycle analysis, GaBi, appeared and the following year SimaPro was developed. That same year the term Life Cycle Analysis was coined, and it is from there that all the standards that regulate this kind of studies begin to appear today. ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000)...

Since the LCA studies were established, numerous libraries and databases have appeared that have facilitated the appearance of projects of this type.

However, carrying out the study of a fleet of vehicles has always been very complicated, it requires too much detail, therefore an alternative method is used to model the production of a vehicle, and that is to use a standard vehicle [9]. Some important agents in the automotive sector have published the list of components of some of their vehicles, for example, the LCI (life cycle inventory) of the Volkswagen Golf A4, published by the company itself and available at [10], a full life cycle inventory list is provided on the materials used to produce the Volkswagen car. And studies and articles have already been carried out based on this database created by Volkswagen [11].

Actually, the manufacturing process of a vehicle represents less than 1% of its life cycle impact, but the transport sector and the industrial sector are two of the main greenhouse gas emitters. [12], a project aimed at reducing fossil fuel consumption, will help achieve the goals of the 2030 agenda and make this world a better place.

Description of the model developed.

Motivation

Sustainability and caring for the environment are a growing concern in all civilizations on earth. Society is moving towards a healthier relationship with the planet, where the earth is no longer seen as a source of inexhaustible resources, but rather as a finite and fragile system that must be cared for and respected in order to guarantee the survival of the human species.

For this purpose, terms such as the circular economy are born, whose fundamental principle is to reduce the raw materials entering human processes, from the environment, as well as mitigate the production of waste, thus imitating natural systems in which everything is used and has value itself.

Life cycle analysis is a very useful tool when determining the outputs and inputs of material in a production process or service. This tool can help a company know what its environmental impact is and begin to reduce it.

The automotive sector currently represents more than 70% of the total emissions of greenhouse gases from transport in the European Union.[13] Therefore, its study and optimization is of vital importance to get closer to this objective of sustainable development and circular economy.

The study of the life cycle analysis in the Madrid car factory that is the object of the study will help reduce its impacts and may serve as an example for other factories and thus promote the optimization of processes and the reduction of the environmental impact of other competitors. of the sector.

In addition, along with these environmental improvements comes an economic improvement, by reducing waste in the factory and improving its efficiency, inevitably money losses will be reduced. Strong proof that ecology is a feasible long-term investment.

Resources to use

SimaPro

There are different softwares for the generation of life cycle analysis. Among them is OpenLCA, SimaPro or GaBi[14]. The choice of one program or another is very important depending on the functions and databases you want. Due to the demands of this project, it was decided to use the SimaPro tool.

SimaPro[15] is a software with more than 30 years in the market and with a presence in more than 80 countries. Companies apply it in different areas such as sustainability reports, product design, water, and carbon footprint measurement ... With SimaPro you can

- Easily model and analyze complex lifecycles in a systematic and transparent way.
- Measure the environmental impact of different products and services at all stages of the life cycle.
- Identify critical points in each link in the supply chain, from raw material extraction to manufacturing, distribution, use and disposal.

SimaPro makes use of a large number of databases to analyze processes or materials, among which are (Agri-footprint, ELCD, ecoinvent, EXIOBASE, Environmental Footprint databes ...)

Polysun

Polysun is a high-end software oriented to the planning, design and optimization of energy production systems[16]. In the case of this project, it will be used to size the vacuum tubes that will replace natural gas in the production of heat. Through this program, the consumption, and the installation to be dimensioned will be simulated.

Ressspi

Ressspi is an open-source software for the simulation of solar installations and applications. Ressspi is an online calculator, developed in Python 3, developed to establish a common framework in the benchmarking of solar concentration technologies. It is capable of estimating both energy production and financial aspects, in addition, it is very flexible in its simulation and has great power despite being a free program.[17]

In this project, it will be used to size the concentration collectors (linear concentration solar thermal collectors, Fresnel type, provided by the company SOLATUM, the same company that develops the Ressspi software).

Results.

Vacuum tube solar collector

This technology would be used to power the factory's heating systems. For this, the POLYSUN tool was used. After a series of iterations and technical decisions, always seeking to adapt to the needs of the factory and obtaining the highest efficiency at the lowest cost, the following results were obtained.

Overview solar thermal energy (annual values)

Collector area	18.4 m ²
Solar fraction total	50.3%
Total annual field yield	5,348.4 kWh
Collector field yield relating to gross area	291.3 kWh/m ² /Year
Collector field yield relating to aperture area	454.6 kWh/m ² /Year
Max. fuel savings	566 m ³ (gas): [Natural gas H]
Max. energy savings	5,942.6 kWh
Max. reduction in CO2 emissions	1,376 kg

Illustration 5. Summary results of the vacuum tube solar collector

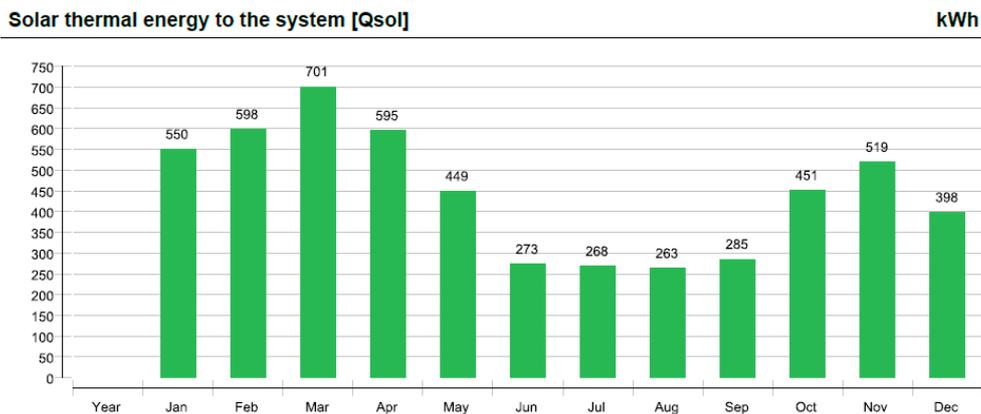


Illustration 6. Solar contribution for months to the system

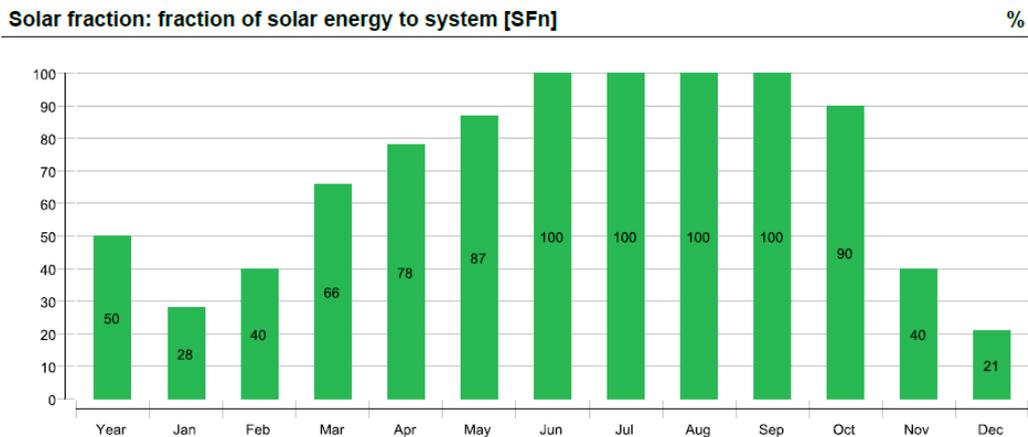


Illustration 7. Percentage of solar energy to the system, by months

As expected, when less energy is provided is in the summer months, 100% of which is solar. This is because in these months it is when this type of energy can be used the most, however it is when heating systems are not needed.

Concentrating solar thermal energy

This technology is used to provide the necessary heat to the painting processes. The sizing was carried out with the RESSPI tool, and after a series of iterations, always seeking the objective of supplying 20% of the demand, with the least investment and the fastest payback period, the following results were obtained.

Resumen de resultados

Ahorro solar año 1: 141002 €/año	% Ahorro combustible: 20.4%	
Factura actual: 553050.0 €/año	Coste combustible actual: 0.0 €/kWh	
Inversión: 1684805.8 €	TIR: 10.4 %	Retorno: Año 11
Campo solar: 6336 m ²	Producción energía: 3618786.6 kWh/año	CO2 evitado: 723.8 Ton/año

Illustration 8. Concentration solar thermal energy results summary

For more details about the results, consult the project report.

Heat pumps

After an evaluation, it was concluded that 3 pumps would be used to reuse the heat from certain emitting sources in the factory that had similar characteristics. The pumps would be purchased directly from the manufacturers without the need to size their own pumps, for which the economic evaluation was carried out, obtaining the following results.

Technical Results		
Gas saving	1710	kW
CO2 Avoided	1102	Ton / year
CO2 emitted by the use of the pumps	-500.803	Ton / year
Net avoided CO2	601,197	Ton / year

Illustration 9. Technical results

Economic results		
GO	€ 447,049.85	€
IRR	18.16%	€
Period Ret.	6.41	years

Illustration 10. Economic results

Below is a table that shows the working days in each month, as well as the consumption of the paint ovens and the Thermal Power Plant. The last column shows the percentage of kW that the pumps cover with respect to the total paint ovens.

Work days	Month	Paint Ovens	CT - PCI		% Reduction
17	January	1,745,095	2,182,306	kWh	26.65%
19	February	1,992,222	2,248,169	kWh	26.09%
18	March	1,877,918	1,644,304	kWh	26.22%
21	April	2,146,097	864,163	kWh	26.77%
20	May	1,953,799	0	kWh	28.01%
22	June	2,216,319	0	kWh	27.16%
16	July	1,595,193	0	kWh	27.44%
12	August	1,266,973	0	kWh	25.91%
22	September	2,381,964	0	kWh	25.27%
15	October	1,539,678	11,723	kWh	26.65%
20	November	2,106,669	2,120,859	kWh	25.97%
14	December	1,492,795	1,708,857	kWh	25.66%

Illustration 11. Gas consumption reduction percentage with series pumps [Own source]

Life cycle analysis.

The process that was most affected by the implementation of the technologies was that of painting, in the following image you can see the total energy consumption in this process, as well as the distribution of the different sources of energy input, before and after of the implementation. As can be seen in the Pareto diagrams, the total consumption goes from 3.15 GJ per car, to only 2.6 GJ. And the percentage of renewable energies in the mix increases from about 3% to 12% of the total. This is the result of combining solar energy with the reuse of heat that heat pumps do.

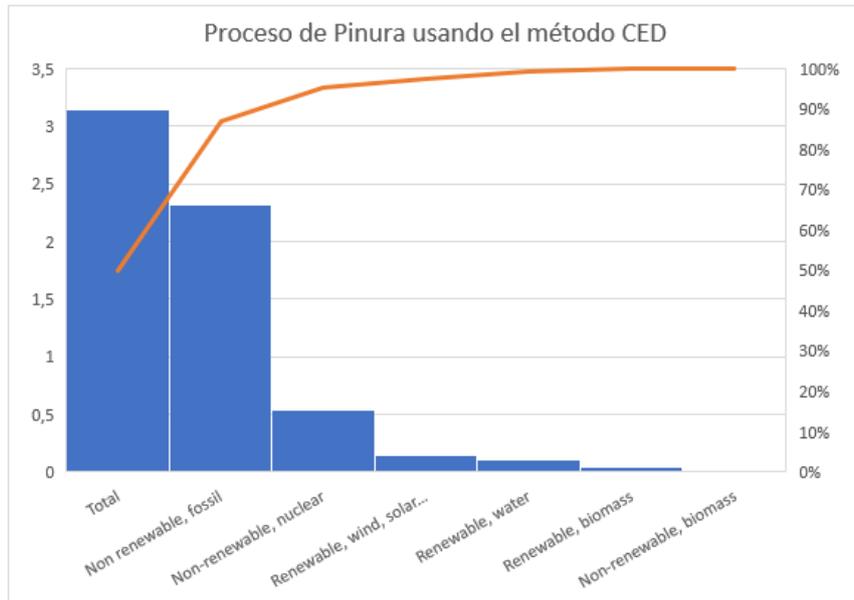


Illustration 12. Energy consumption painting process without technological improvements

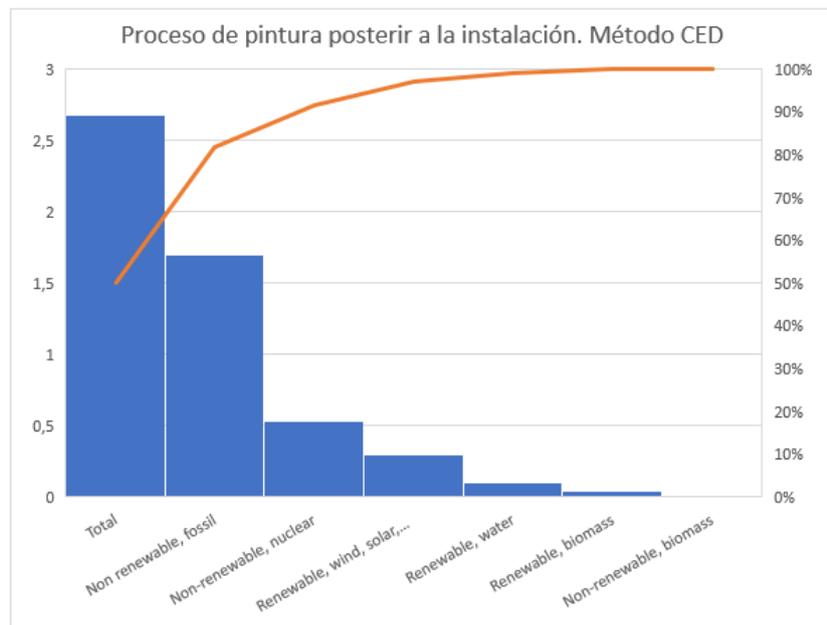


Illustration 13. Energy consumption painting process with technological improvements

Finally, the reduction in the emission of greenhouse gases will be seen. The installation of SOLATOM solar collectors[18], supposes a reduction of CO₂ emissions of 723.8 Ton / year. And the use of the pumps prevents 600.9 Ton / year of this same gas from being emitted into the atmosphere (this would be the subtraction of the CO₂ avoided by reducing gas consumption, minus the CO₂ generated by feeding the pumps with electricity)

With all this, CO2 emissions are reduced by a total of 1,324.7 Ton / year (and this only in the area of the painting ovens, the vacuum tube solar collectors that will be used for air conditioning)

According to the Generalitat de Catalunya Interdepartmental Climate Change Commission, the natural gas emission factor is 2.15 kg of CO2 / Nm3[19] and according to GASNAM [20], its density is 0.743 kg / Nm3, that is, 2.9 kg of CO2 are produced for each kg of Natural Gas consumed. Therefore, if 24 kg of Natural Gas are consumed for each car produced, and 82,000 cars are produced in a standard year, this factory consumes 1,968 million kg of Natural Gas per year, which implies emissions of 5,707.2 tons of CO2 per year.

Therefore.

$$\frac{1324.7}{5707.2} = \mathbf{23,21\%}$$

The implementation of these measures implies a reduction in total emissions of 23.21%. A significant improvement that will bring this company closer to the sustainability objectives of the 2030 agenda, which will allow it to continue carrying out its activity while protecting the environment and which will undoubtedly give them positive publicity with respect to potential customers interested in their cars.

Conclusions.

Below are some of the conclusions that have been obtained throughout the project.

- Building a vehicle accounts for a very small percentage of its life cycle environmental impact. Within the manufacturing process, in turn, the paint part is another small part, and within this paint part, it has been possible to reduce greenhouse gas emissions by 23%, which, globally over the entire life cycle of a vehicle, it will be a very small improvement.
- There is a possibility to increase the size of the improvements in the future. The factory has a huge plot where more solar panels could be installed, in addition,

numerous heat sources are wasted that could be used to power other parts of the car manufacturing process or to acclimatize different areas of the factory.

- The initial investment to achieve this improvement is important. Renewable energies such as solar, currently have a high price that makes some projects unviable, however, only through investment in this sector and the development of projects like this, will it be possible to reduce the prices of renewable energies and expand their feasibility and its implementation.
- All in all, this factory will obtain very good conclusions from this project, it will have to make a significant initial investment, but as we have seen, in less than 10 years it will have recovered the investment and will be making a profit. In addition, it will improve your image with the public, which will bring you a new range of customers who, motivated by the company's environmental commitment, will not hesitate to purchase your products. And finally, and most importantly, your contribution will help bring society closer to the long-awaited energy transition, making this world a better, safer, and cleaner place.
- Regarding the life cycle analysis, it is a powerful tool that helps to clarify the different impacts that a product or a process has throughout its useful life, however, when analyzing a process, it can be a tool limited, as the scope may be difficult to establish, or not large enough to take all factors into account. This tool may therefore be more useful in products rather than in processes, due to the ease of defining the scope.
- Regarding the solar technologies, their enormous potential should be highlighted. There is much to improve in this sector in terms of efficiency and it is true that it is a type of energy that is neutralized if the climatic conditions are not favorable, but its potential is enormous, and with the proper research, much more impressive numbers could be achieved. and much more attractive electricity savings.

References.

- [1] J. P. Vargas Bautista, P. Yampasi Espejo, X. Tirado Villarroel, y A. Patzi, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO: ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO», *Investig. Amp Desarro.*, vol. 1, n.º 16, pp. 49-60, 2016.
- [2] A. W. Badar, R. Buchholz, Y. Lou, y F. Ziegler, «CFD based analysis of flow distribution in a coaxial vacuum tube solar collector with laminar flow conditions», *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 3, n.º 1, p. 24, sep. 2012, doi: 10.1186/2251-6832-3-24.
- [3] H. Yildizhan y M. Sivrioğlu, «Exergy analysis of a vacuum tube solar collector system having indirect working principle», 2017, doi: 10.2298/TSCI150905009Y.
- [4] H. Müller-Steinhagen y F. Trieb, «Concentrating solar power», [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenia.org.uk/getattachment/Ingenia/Issue-18/Concentrating-solar-power-A-review-of-the-technolo/Muller%E2%80%93Steinhagen.pdf>
- [5] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. Degreève, y G. Cacères, «Concentrated solar power plants: Review and design methodology», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 466-481, jun. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.01.032.
- [6] «El crecimiento de la energía solar en India liderado por la FV pone la mirada en los proyectos CSP | Reuters Events | Renewables». <https://www.reutersevents.com/renewables/csp-es/el-crecimiento-de-la-energia-solar-en-india-liderado-por-la-fv-pone-la-mirada-en-los> (accedido jun. 10, 2021).
- [7] R. M. JAVIER FRANCISCO y V. G. ELOY, *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. Editorial Paraninfo, 2005.
- [8] «¿Que es y como funciona una Bomba de Calor?», *Tecnoverde*. <https://tecnoverde.cl/que-es-y-como-funciona-una-bomba-de-calor/> (accedido jun. 10, 2021).
- [9] M. Pierini, M. Delogu, y F. DelPero, «Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car», *Elsevier B.V.*, p. 17.
- [10] G. W. Scheweiner y M. Levin, «Life Cycle Inventory for the Golf A4», Accedido: feb. 07, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.pdfFiller.com/jsfiller-desk12/?requestHash=9fe5427ddc6da972b720c987c12226f1f76dc7dd325962ff6ecc1290c2ae1c97&lang=es&projectId=638043726#ee39cc606e7f90b19a1f8fa824591c1d>
- [11] C. Y. Yuan, R. Simon, N. Mady, y D. Dornfeld, «Embedded temporal difference in Life Cycle Assessment: Case study on VW Golf A4 CAR», *IEEE*, 2009, doi: 10.1109/ISSST.2009.5156731.
- [12] N. Mirjat, M. Uqaili, K. Harijan, G. Valasai, F. Shaikh, y M. Waris, «A review of energy and power planning and policies of Pakistan», *Rev. Energy Power Plan. Políticas Pak.*, vol. 79, pp. 110-127, may 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.040.
- [13] Agencia Europea de Medio Ambiente, «Aspectos destacados por la AEMA sobre el medio ambiente europeo». nov. 15, 2008. Accedido: feb. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/downloads/a3bace77fb467439ed9fb44fcbf9d349/1583422375/intro.pdf>
- [14] D. Silva, A. Nunes, V. Moris, C. Piekarski, y T. Rodrigues, *How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto*. 2017.
- [15] «SimaPro | The world's leading LCA software», *SimaPro*. <https://simapro.com/> (accedido feb. 05, 2021).
- [16] B. Lacoste, A. Wolf, A. Witzig, y A. Maerklin, «Polysun. PV, wind and power-heat-cogeneration in one design tool», jul. 2010, Accedido: mar. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/21341935>
- [17] M. Frasquet, J. bannenber, M. Silva, y Y. Nel, «RESSSPI: The Network of Simulated Solar Systems for Industrial Processes», en *Proceedings of EuroSun 2018*, Rapperswil, CH, 2018, pp. 1-9. doi: 10.18086/eurosun2018.08.04.

- [18] «SolatomCSP». <https://www.solatom.com/> (accedido may 02, 2021).
- [19] Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental, y del Cambio Climático, «GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)». mar. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
- [20] GASNAM y SEDIGAS, «Tabla Equivalencias gas natural». [En línea]. Disponible en: http://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Tabla_equivalencias_GASNAM_SEDIGAS.pdf



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

SOLUCIONES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA EN UNA PLANTA DE AUTOMOCIÓN

Autor: Marcos Roa Escobar

Directora: María del Mar Cledera Castro

Director: Carlos Morales Polo

Madrid

Junio de 2021



Índice

1.	Introducción.....	11
2.	Estado del arte	15
2.1.	Energía Solar.....	15
2.1.1.	Colector Solar de tubo de vacío.....	17
2.1.2.	Energía solar térmica de concentración.....	19
2.2.	Bomba de calor	21
2.3.	Análisis de ciclo de vida e impacto ambiental.....	23
3.	Descripción del modelo desarrollado	25
3.1.	Motivación	25
3.2.	Objetivos del Proyecto.....	27
3.3.	Recursos a emplear	28
3.3.1.	SimaPro	28
3.3.2.	Engineering Equation Solver (EES).....	28
3.3.3.	Polysun	29
3.3.4.	Ressspi.....	29
3.3.5.	PVSyst	30
4.	Análisis de Resultados.....	31
4.1.	Energía solar	32
4.1.1.	Colector solar de tubo de vacío	35
4.1.2.	Energía solar térmica de concentración.....	42
4.2.	Bombas de calor.....	50
4.2.1.	Evaluación económica de las bombas de calor en serie	58
4.2.2.	Evaluación económica de las bombas de calor en paralelo.....	63
4.2.3.	Comparación de los resultados	68
4.3.	Análisis de Ciclo de Vida	69

4.3.1.	Objetivo y definición del alcance	70
4.3.2.	Análisis de Inventario.....	72
4.3.3.	Métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida.....	74
4.3.4.	Resultados e Interpretación	77
5.	Conclusiones.....	87
6.	Relación con los ODS	89
7.	Referencias	91
8.	Apéndices	95

Índice de figuras

Figura 1. Fases de un LCA[4].....	14
Figura 2. Tipos de tecnologías de captación solar[8]	16
Figura 3. Esquema de un colector solar de tubo de vacío.[9].....	17
Figura 4. Comparación de los sistemas directo e indirecto.[11].....	18
Figura 5. Tipos de tecnologías de concentración solar[14]	19
Figura 6. Reflectores lineales Fresnel[15]	20
Figura 7. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor[17]	21
Figura 8. Uso energético por sector a nivel mundial (2015)[25].....	24
Figura 9. Economía circular[27].....	25
Figura 10. Logo de SimaPro	28
Figura 11. Logo de Polysun.....	29
Figura 12. Logo de RESSSPI	29
Figura 13. Logo de PVSyst.....	30
Figura 14. Procesos y consumos en la fábrica de PSA [Informe PSA].....	32
Figura 15. Consumos de gas de pintura en la fábrica de PSA [Informe PSA]	33
Figura 16. Primera disposición de la simulación. En serie [Informe Polysun]	35
Figura 17. Segunda disposición para la simulación. En paralelo [Informe Polysun].....	36
Figura 18. Disposición final de los colectores de vacío [Informe Polysun]	37
Figura 20. Información general del sistema [Informe Polysun]	38
Figura 21. Fracción solar cubierta por mes [Informe Polysun]	39
Figura 22. Energía solar que se vierte al sistema a lo largo del año. [Informe Polysun]	39
Figura 23. Energía no solar que se vierte al sistema a lo largo del año [Informe Polysun]	40
Figura 24. Energía consumida por el sistema [Informe Polysun]	41

Figura 25. Diagrama de flujo energético. Diagrama de Sankey [Informe Polysun]	41
Figura 26. Resumen instalación solar [Informe Ressspi]	42
Figura 27. Esquemas de la instalación con y sin almacenamiento térmico [Fuente propia]	43
Figura 28. Diagramas T-s y h-s del agua [Informe Ressspi]	43
Figura 29. Producción solar con almacenamiento térmico [Informe Ressspi]	44
Figura 30. Producción solar sin almacenamiento térmico [Informe Ressspi]	44
Figura 31. Producción solar en dos semanas del año [Informe Ressspi].....	45
Figura 32. Almacenamiento en dos semanas del año [Informe Ressspi]	45
Figura 33. Focos aprovechados [Fuente propia].....	53
Figura 34. Resumen Tarifas eléctrica y de gas [Fuente propia]	56
Figura 35. Disposición en serie [Fuente propia].....	58
Figura 36. Balance de las bombas en serie [Fuente propia]	62
Figura 37. Disposición en paralelo [Fuente propia]	63
Figura 38. Balance de las bombas en paralelo [Fuente propia].....	67
Figura 39. Partes de estudio de un LCA[36]	69
Figura 40. Análisis de inventario del proceso de pintura [Informe SimaPro]	73
Figura 41. Análisis de inventario del proceso de montaje [Informe SimaPro]	73
Figura 42. Análisis de inventario del proceso de chapa [Informe SimaPro]	73
Figura 43. Consumo energético proceso de chapa [Fuente propia].....	77
Figura 44. Consumo energético proceso de Montaje [Fuente propia].....	78
Figura 45. Resultados del proceso de chapa con el método CML-IA baseline [Informe SimaPro]	79
Figura 46. Resultados del proceso de montaje con el método CML-IA baseline [Informe SimaPro]	80
Figura 47. Consumo energético proceso de pintura [Fuente propia].....	81

Figura 48. Resultados del proceso de pintura con el método CML-IA baseline [Informe SimaPro]	82
Figura 49. Consumo energético proceso de pintura con mejoras tecnológicas [Fuente propia].....	83
Figura 50. Resultados del proceso de pintura con el método CML-IA baseline y las mejoras instaladas [Informe SimaPro]	85
Figura 51. Objetivos de Desarrollo Sostenible [41]	89



Índice de Tablas

Tabla 1. Iteraciones de simulaciones [Fuente propia]	38
Tabla 2. Datos de almacenamiento solar [Fuente propia]	46
Tabla 3. Flujo de caja 20 años sin depósito [Fuente propia]	47
Tabla 4. Flujo de caja 20 años con depósito [Fuente propia]	47
Tabla 5. Tabla comparativa de las dos opciones [Fuente propia].....	48
Tabla 6. Comparativa de los 3 casos [Fuente propia].....	49
Tabla 7. Consumos Central Térmica (calefacción) [Fuente propia].....	50
Tabla 8. Consumos Hornos de Pintura [Fuente propia]	51
Tabla 9. Posibles focos aprovechables [Fuente propia].....	53
Tabla 10. Modelos de bombas a emplear [Fuente propia].....	54
Tabla 11. Primeros datos bombas en serie [Fuente propia].....	59
Tabla 12. Primeras funciones económicas bombas en serie [Fuente propia]	60
Tabla 13. Primeros resultados bombas en serie [Fuente propia]	60
Tabla 14. Flujo de caja bombas en serie [Fuente propia]	61
Tabla 15. Resultados económicos bombas en serie [Fuente propia]	61
Tabla 16. Porcentaje de reducción de consumo de gas con las bombas en serie [Fuente propia].....	62
Tabla 17. Primeros datos bombas en paralelo [Fuente propia]	64
Tabla 18. Primeras funciones económicas bombas en paralelo [Fuente propia].....	65
Tabla 19. Primeros resultados bombas en paralelo [Fuente propia].....	65
Tabla 20. Flujos de caja bombas en paralelo [Fuente propia]	66
Tabla 21. Resultados económicos bombas en paralelo [Fuente propia].....	66
Tabla 22. Porcentaje de reducción de consumo de gas con las bombas en paralelo [Fuente propia].....	67

1. Introducción

Este proyecto es realizado con el fin de mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto medioambiental de una fábrica de coches en España, para ello se implantarán una serie de medidas tecnológicas en dicha fábrica y se evaluará la reducción del consumo energético y de combustibles fósiles (y por lo tanto la reducción de las emisiones) tras la implantación.

Por lo tanto, se dividirá el proyecto en los siguientes estudios.

- Un análisis de ciclo de vida para el estudio del impacto medioambiental (se hará uno previo a la instalación de las tecnologías, otro posterior y se compararán los resultados).
- Un estudio de diferentes formas de autoconsumo mediante el uso de energía solar. Tras el estudio y la elección de las tecnologías más apropiadas, se dimensionarán de acuerdo a los requerimientos de la fábrica, con el fin de reducir su consumo de energías fósiles y mejorar su eficiencia.
- Otro estudio sobre bombas de calor y, de nuevo, su dimensionamiento, para adaptarlo a los requerimientos de la fábrica con el fin de reducir el consumo de combustibles fósiles y, por lo tanto, buscando también la reducción del impacto medioambiental en los procesos de fabricación objeto de estudio.
- Previa a la implementación de las tecnologías seleccionadas, se realizará un estudio económico que determinará su viabilidad. En caso de sobredimensionamiento o si el coste de las tecnologías se sale de presupuesto, se pivotará con el fin de encontrar el equilibrio perfecto entre gasto económico, mejora de la eficiencia y reducción del impacto medioambiental.

Análisis de ciclo de vida es un término que se acuña basado en la Sostenibilidad, por lo que es importante establecer una definición de Sostenibilidad para poder hablar de Análisis de ciclo de vida.

El término “Sostenibilidad” se acuña en el informe de Brundtland en 1987 por la doctora Gro Harlem Brundtland. En dicho informe, el Desarrollo Sostenible, queda definido como sigue. “Desarrollo sostenible es aquel que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades. Los tres pilares que se relacionan en el Desarrollo Sustentable

son la economía, el medio ambiente y la sociedad. La finalidad de su relación es que exista un desarrollo económico y social respetuoso con el medio ambiente” [1]

El análisis de ciclo de vida surge con el fin de ayudar a lograr esta idea de sostenibilidad, puesto que es una herramienta de diseño que investiga y evalúa el impacto ambiental que produce un servicio o producto a lo largo de su existencia. Esto incluye los procesos de extracción de la materia prima, fabricación, producción, distribución y su fin de vida (reciclado, reutilización, valorización, deshecho...).

Un LCA (del inglés “Life Cycle Assessment”, y forma que se utilizará para abreviar Análisis de Ciclo de Vida de aquí en adelante) consta de una serie de fases obligatorias. Son las siguientes: [2]

Objetivo

Responde a preguntas como ¿Por qué se realiza el estudio? ¿Qué preguntas debería responder? ¿Para quién se realiza?

Definición del alcance

- Definición de la Unidad Funcional
- Alcance del sistema: qué procesos / actividades se consideran dentro del ciclo de vida del producto.
- Seleccione el parámetro de la evaluación: elegir el impacto de la evaluación.
- Seleccionar los límites (temporales y geográficos), así como el nivel de desarrollo tecnológico
- Seleccionar la perspectiva:
 - Consecuencial: consecuencia de sustituir una alternativa por otra.
 - Atribucional: Estudiar el impacto asociado a la actividad en evaluación.
- Revisión crítica (sí / no): es necesaria para la comunicación pública

Análisis de Inventario

Construye un inventario de procesos de acuerdo a la definición de objetivo y alcance y recopila datos sobre los flujos físicos. Estos flujos pueden ser del tipo de:

- Entradas: Materiales, recursos, otros productos
- Salidas: Emisiones, productos, subproductos, deshechos...

La mayoría de estos procesos están incluidos en la base de datos del programa en el que se realiza el LCA, en el caso de este trabajo de fin de master, ese programa es SimaPro. Aun así, siempre se pueden añadir nuevos procesos.

El resultado de esta sección, es el Inventario de Ciclo de Vida. Una lista de flujo de elementos cuantificables, asociados con la unidad funcional.

Evaluación del impacto del ciclo de vida

A partir del Inventario de Ciclo de Vida, la evaluación de impacto traduce los flujos físicos del sistema a impactos medioambientales, usando modelos medioambientales científicos.

De acuerdo con las ISO 14040 [3], esta sección consta de 5 fases que son:

- 1) **Selección** de las categorías de impacto elegidas en el alcance con su indicador y modelo asociado, capaz de traducir flujos elementales en cuantificados impactos ambientales.
- 2) **Clasificación** de los flujos elementales del inventario, asignándolos a la categoría de impacto a la que contribuyen.
- 3) **Caracterización**. Cuantificación de la contribución del proceso.
- 4) **Normalización**. Expresar estos impactos en unas magnitudes comunes para facilitar la comparación.
- 5) **Ponderación**. Da un valor único como resultado de la evaluación

Interpretación

Se interpretan los resultados con la finalidad de responder a las preguntas planteadas en los objetivos. En esta sección hay que señalar los límites del proyecto y las asunciones realizadas

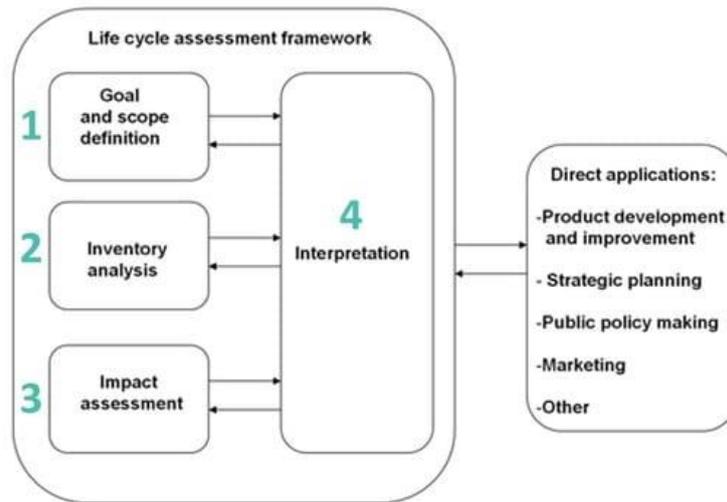


Figura 1. Fases de un LCA[4]

2. Estado del arte

2.1. Energía Solar

El sol es una fuente de energía limpia e inagotable con un potencial enorme para desarrollar la vida en el planeta tierra. La energía que produce el sol es obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética que emite el propio sol. Hoy en día se pueden aprovechar tanto el calor como la luz, mediante diversos captadores como células fotovoltaicas, colectores solares, heliostatos... siendo capaces estos captadores de convertirlo en energía eléctrica o térmica [5]. La cantidad de energía que llega anualmente a la tierra es de 3850 ZJ (zettajulios) y numerosos estudios estiman que el consumo energético anual de la tierra para el año 2030 será de unos 700 EJ (exajulios) [6], es decir, si fuéramos capaces de aprovechar el 0,018% de la energía solar que llega a la tierra, seríamos capaces de satisfacer la demanda anual de todo el planeta. De ahí el enorme potencial que tiene este tipo de energía, y lo necesario que es su investigación y desarrollo.

La posibilidad de aprovechar la energía solar existe desde finales del siglo XIX, sin embargo no es hasta la década de los 90 del siglo XX, que esta energía no comienza a aprovecharse realmente, con la implementación en tejados de paneles fotovoltaicos, tanto en zonas residenciales como en industrias o comercios [7]. Posteriormente en el siglo XXI con políticas de ayudas a energías renovables se ve incrementado exponencialmente el desarrollo de la energía fotovoltaica, primero en Europa y posteriormente en el resto del globo.

Las tecnologías de captación solar se clasifican en activas o pasivas, según como capturan convierten y distribuyen la energía solar [8].

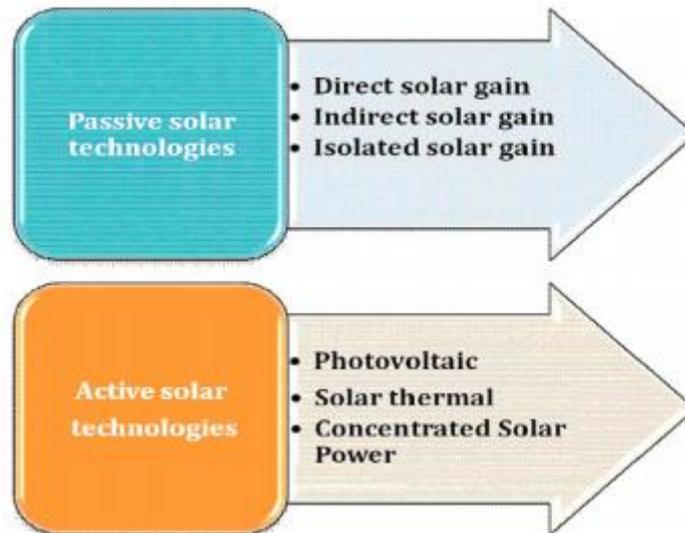


Figura 2. Tipos de tecnologías de captación solar[8]

Como se puede ver en la imagen, ambas tecnologías que van a ser implementadas a lo largo de este proyecto son del tipo Activo.

2.1.1. Colector Solar de tubo de vacío

El colector solar de tubo de vacío es un tipo de colector solar cuya fuente de energía es la solar térmica. Está formado por colectores lineales dispuestos de forma paralela y alojados en tubos de vidrio al vacío. Estos tubos están conectados de forma perpendicular a un mástil que conduce el fluido portador del calor, generalmente agua. En general los tubos son más eficientes en días fríos, ventosos o nubosos, para mantenerlos refrigerados y que no tengan fallos o malfuncionamientos por el excesivo calor.



Figura 3. Esquema de un colector solar de tubo de vacío.[9]

Presentan ciertas ventajas con respecto a los colectores planos, por ejemplo, la reducción de las pérdidas por convección, en los tubos de vacío, al estar aislados, se reduce en torno a un 5%. Y al ser numerosos tubos, esto supone un ahorro de hasta un 35% [10].

Existen dos tipos de sistemas según este dispuesto el circuito. Directos (bucle abierto) o indirectos (bucle cerrado) [10].

En los sistemas de circuito directo, el fluido de trabajo circula por el colector y el tanque de almacenamiento sin intercambio de calor, y se utiliza agua como fluido de trabajo. Este tipo de circuito es utilizado en regiones donde no existen problemas de congelación.

En los sistemas de circuito indirecto, si que se produce un intercambio de calor y se utiliza un fluido intermedio con bajos puntos de congelación. Este tipo de sistemas está pensado para regiones con climas fríos, además, al no usar agua en todo el circuito, se previene la calcificación y la corrosión.

En este proyecto, se utilizará el circuito de tipo directo.

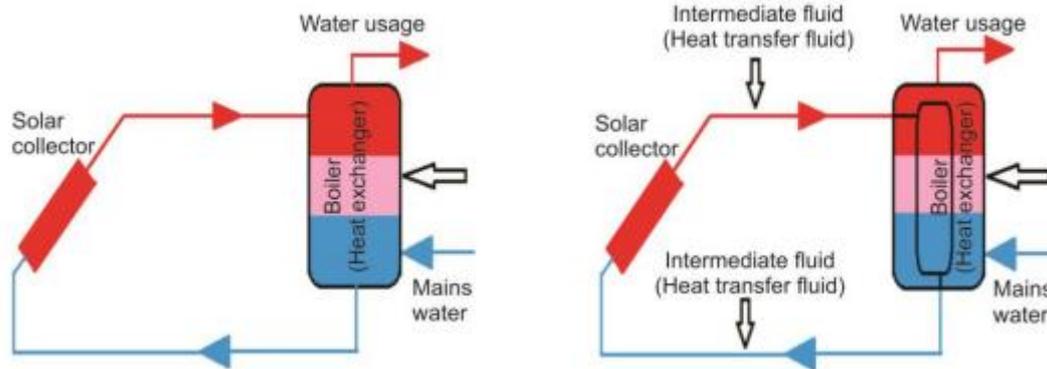


Figura 4. Comparación de los sistemas directo e indirecto.[11]

2.1.2. Energía solar térmica de concentración

La energía solar térmica de concentración (CSP por sus siglas en inglés *Concentrated Solar Power*) está basada en el concepto de utilizar la radiación solar para producir aire o agua a grandes temperaturas, que puede usar posteriormente para generar electricidad, o como aporte de calor a otros procesos. Utiliza espejos para concentrar los rayos del sol sobre una superficie pequeña sobre la que circular la sustancia a calentar.[12]

Actualmente existen cuatro tipos de tecnologías de concentración. [13]

- Sistemas de plato parabólico
- Colector cilindro-parabólico
- Reflector lineal Fresnel
- Torres de energía solar

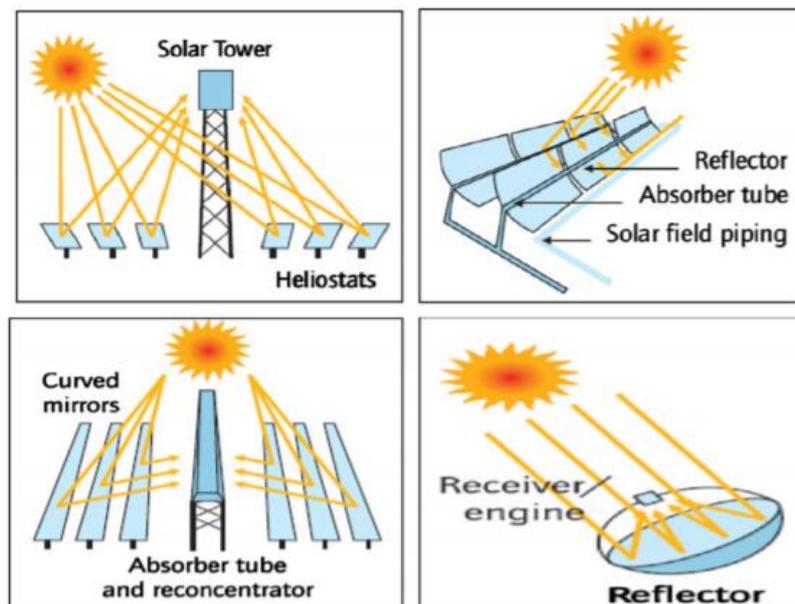


Figura 5. Tipos de tecnologías de concentración solar[14]

Colector cilindro-parabólico

Este tipo de tecnología consiste en un reflector parabólico y lineal que concentra los rayos del sol sobre un tubo receptor por el que circula la sustancia a calentar (se llegan a alcanzar temperaturas de hasta 350°C, dependiendo del fluido que se emplee) y que está ubicado a lo largo de la línea focal del reflector. El Receptor es capaz de seguir la posición

del sol a lo largo de las horas para potenciar al máximo su eficiencia. Este es el tipo de tecnología CSP más común

Torres de energía solar

También conocidos como Sistemas Receptores centrales, usan un conjunto de receptores helióstatos que son planos y capaces de moverse a dos ejes para seguir al sol. Reflejan y concentran los rayos solares sobre un receptor central ubicado en la cima de una torre. El calor es absorbido por un fluido de transferencia de calor que después transfiere este calor a un intercambiador de calor que, generalmente, activa un ciclo de Rankin.

Sistemas de cilindro parabólico

Los sistemas de cilindro parabólico concentran los rayos del sol en un punto focal ubicado en el centro del plato. El sistema completo en su conjunto es el que sigue la posición del sol. Este sistema elimina la necesidad de utilizar agua de enfriamiento. Este sistema ofrece la eficiencia de transformación más alta de los cuatro.

Reflector lineal Fresnel

Este tipo de tecnología está fabricado con muchas tiras de espejos delgados y planos que, al igual que los cilíndrico-parabólicos, concentran la luz del sol sobre unos tubos por lo que circula el fluido a calentar. Al usar numerosos espejos planos, es posible capturar más luz solar que los reflectores parabólicos, además son más económicos. Este es el tipo de tecnología que se utilizará en este proyecto.

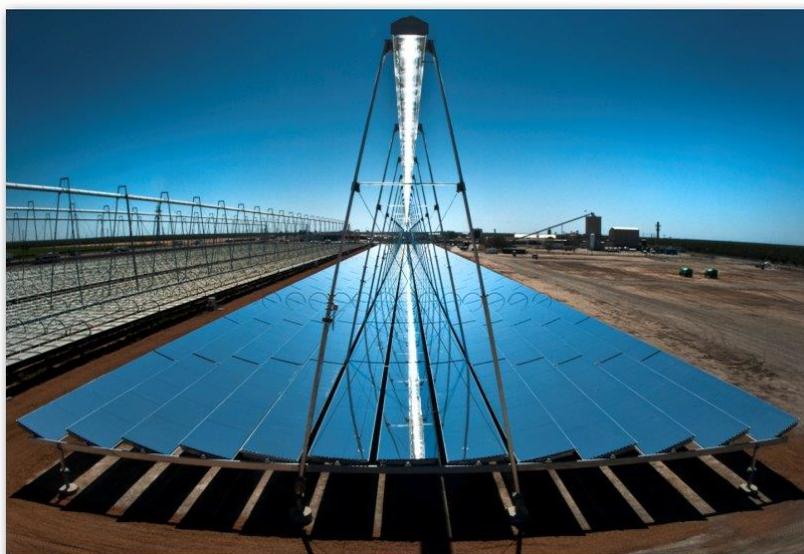


Figura 6. Reflectores lineales Fresnel[15]

2.2. Bomba de calor

Una bomba de calor es una maquina termodinámica formada por un circuito frigorífico clásico (Sistemas de expansión y compresión, evaporador y condensador) del que se aprovecha el calor cedido por el condensador (generalmente agua caliente que sale de este, aunque también puede ser aire) a partir de la fuente fría que absorbe el evaporador (generalmente agua de un rio o pozo). En la siguiente imagen se puede ver el ciclo clásico de funcionamiento de una bomba de calor. [16]

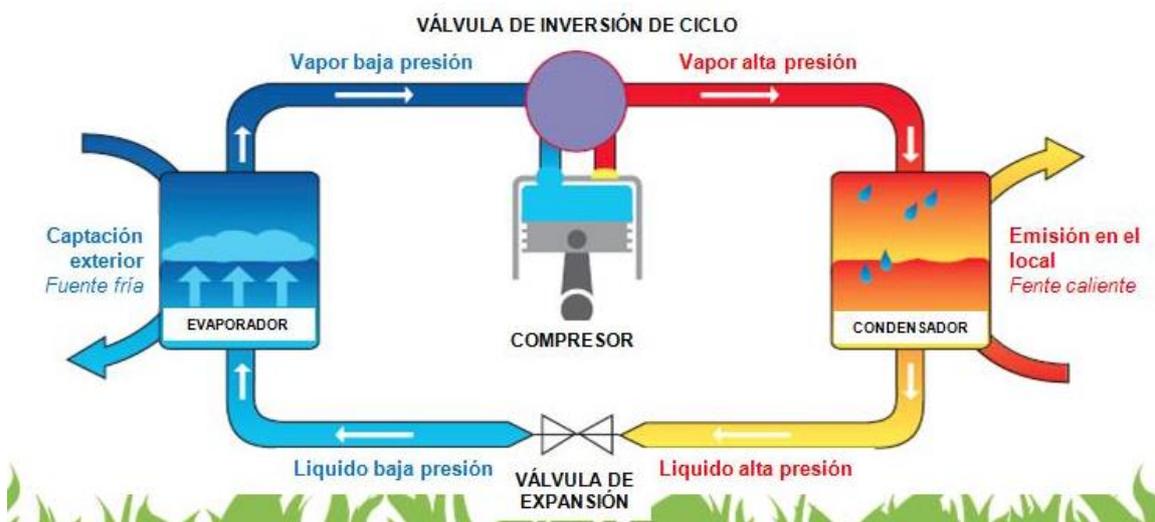


Figura 7. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor[17]

Durante el proceso de evaporación, se sustrae energía del ambiente (foco frío) en forma de calor. Este calor es absorbido por el fluido frigorífico, que pasa de estado líquido a gaseoso, ocurriendo este cambio de estado a presión constante.

El compresor sirve para comprimir el fluido frigorífico (ahora en estado de vapor) llegando incluso a licuarlo y lo conduce hacia el condensador donde se licua completamente liberando el calor previamente absorbido (Q_c)

En la fase de condensación, se libera la energía al medio que se pretende calentar (foco caliente), ya sea doméstico, industrial o comercial.

A la salida del condensador el fluido se dirige hacia el sistema de expansión, generalmente una válvula o tubo capilar, donde se produce la expansión convirtiéndose en vapor húmedo. Este vapor retorna al evaporador a una presión inferior a la de licuefacción donde, para evaporar su fracción líquida, debe absorber una cantidad de calor del medio (Q_o)

El calor total cedido, será igual al calor absorbido más el trabajo mecánico del compresor.

Uno de los factores que hace que de las bombas de calor un sistema tan eficiente e interesante es el hecho de que la cantidad de energía consumida para hacer funcionar el compresor (generalmente un motor eléctrico) es, en general, mucho más pequeña que la energía desprendida por el condensador.

Un ratio importante es el COP. La norma UNE-EN 14511 define el Coeficiente de Rendimiento COP como el ratio entre la potencia calorífica y la potencia absorbida útil del equipo[18]. El COP es adimensional. Si por ejemplo una bomba consume 1 kW y genera 3 kW, el COP sería de 3. Este valor suele variar entre 3 y 5 unidades dependiendo del tipo de bomba

2.3. Análisis de ciclo de vida e impacto ambiental

La historia de los estudios de análisis de ciclo de vida es relativamente reciente. El registro del primer LCA conocido, consta de 1963. Lo realizó Harold Smith sobre la producción de productos químicos. Poco después la famosa empresa Coca Cola, realizó su propio estudio para encontrar el mejor envase para su bebida. En 1989, aparece el primer software para el análisis de ciclo de vida, GaBi, y al año siguiente SimaPro es desarrollado. Ese mismo año se acuña el termino Análisis de Ciclo de Vida y es a partir de ahí cuando empiezan a aparecer todos los estándares que regulan esta clase de estudios hoy en día. ISO 14040 (1997), ISO 14041 (1998), ISO 14042 (2000) ...

Desde que se consagraron los estudios de LCA, han ido apareciendo numerosas librerías y bases de datos que han facilitado la aparición de proyectos de este tipo.

Sin embargo, realizar el estudio de una flota de vehículos siempre ha sido muy complicado, requiere demasiado detalle, por ello se utiliza un método alternativo para modelar la producción de un vehículo, y es usar un vehículo estándar [19]. Algunos agentes importantes del sector de la automoción, han publicado un listado de componentes de alguno de sus vehículos, por ejemplo, el LCI (life cycle inventory) del Volkswagen Golf A4, publicado por la propia empresa [20], se proporciona una lista de inventario de ciclo de vida completo sobre los materiales utilizados para producir el automóvil Volkswagen. Y ya se han realizado estudios y artículos en base a esta base de datos creada por Volkswagen [21].

Los materiales y elementos usados en la fabricación de un coche son unos de sus principales impactos medioambientales, pero no es el único, el consumo de combustible a lo largo de su vida útil (conocido como impacto “Tank to Wheel” (TTW)) es probablemente el factor que más peso tiene en el impacto global de la cuna a la tumba de un vehículo. Y no solo eso, las emisiones de los procesos de combustión en el sector transporte suponen en torno al 30% de los gases de efecto invernadero emitidos anualmente en todo el planeta [22]. Por ello numerosos estudios se han realizado y artículos se han escrito para comparar distintos combustibles y clasificarlos según su impacto ambiental [23].

Sin embargo, este proyecto se va a centrar solamente en el impacto de los consumos energéticos de la maquinaria y los procesos de chapa, pintura y montaje:

- Chapa. Conformación de la carrocería
- Pintura. Cataforesis, Masillas y aplicación de lacas en horno y cabina
- Montaje. Montaje y acabado final

En 2011, el sector transporte era responsable del 20% del uso energético mundial, el 30% en el caso de los países de la OCDE [24] y se estima que este porcentaje ha crecido, y crece, a un ritmo anual del 2.1%, un índice de crecimiento mayor que el de cualquier otro sector. Por ello, es de vital importancia, para lograr un mundo más sostenible, analizar los procesos de fabricación de los vehículos, estudiar su impacto, e intentar optimizar y reducir este consumo al máximo posible.

Energy Consumption by Sector (2015)

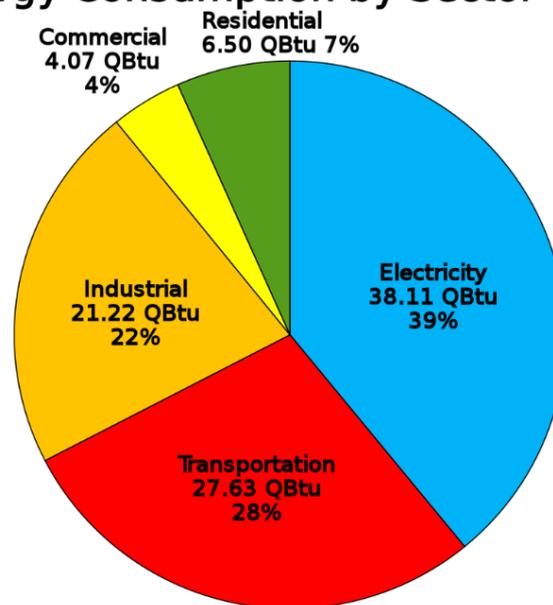


Figura 8. Uso energético por sector a nivel mundial (2015)[25]

3. Descripción del modelo desarrollado

3.1. Motivación

La sostenibilidad y el cuidado del medioambiente son una preocupación creciente en todas las civilizaciones de la tierra. La sociedad avanza hacia una relación con el planeta más sana, donde ya no se ve la tierra como una fuente de recursos inagotables, si no como un sistema finito y frágil que hay que cuidar y respetar para poder garantizar la supervivencia de la especie humana.

Con este fin nacen términos como la economía circular, cuyo principio fundamental es reducir las materias primas entrantes en los procesos humanos, procedentes del medioambiente, así como mitigar la producción de desechos, imitando así los sistemas naturales en los que todo se aprovecha y tiene valor por si mismo. [26]



Figura 9. Economía circular[27]

El análisis de ciclo de vida es una herramienta muy útil a la hora de determinar las salidas y entradas de material en un proceso productivo o servicio. Esta herramienta puede ayudar a una empresa a saber cuál es su impacto medioambiental y empezar a reducirlo.

El sector automovilístico, representa, en la actualidad, en la unión europea, más del 70% de las emisiones totales de los gases de efecto invernadero procedentes del transporte,[28] por lo que su estudio y optimización es de vital importancia para acercarnos más a este objetivo de desarrollo sostenible y economía circular.

El estudio del análisis de ciclo de vida en la fábrica de coches de Madrid objeto del estudio, ayudará a la reducción de sus impactos y podrá servir como ejemplo para otras fábricas y fomentar así la optimización de procesos y la reducción del impacto medioambiental de otros competidores del sector.

Además, junto a estas mejoras medioambientales viene una mejora económica, al reducir desperdicios en la fábrica y mejorar su eficiencia, inevitablemente se reducirán pérdidas de dinero. Prueba fehaciente de que la ecología es una inversión factible a largo plazo

3.2. Objetivos del Proyecto

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio de análisis de ciclo de vida de los procesos que ocurren en la fábrica de PSA, evaluar su impacto y sus posibles puntos de mejora. Una vez conocidas sus debilidades se procedería a implantar mejoras tecnológicas con el fin de mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de sus procedimientos. Posteriormente se volvería a realizar el análisis de ciclo de vida con las mejoras ya aplicadas para así comparar con los datos iniciales y tener muestras empíricas de las consecuencias de las mejoras aplicadas. Con el fin de lograr este objetivo se perseguirán los siguientes hitos

- 1) Obtener datos empíricos de la fábrica. Se realizarán visitas periódicas a las instalaciones para obtener unos primeros datos
- 2) Realizar un análisis de ciclo de vida con estos datos. Para ello se utilizará la herramienta de SimaPro
- 3) Estudiar los resultados y proponer mejoras allí donde resulte más óptimo. A la vista de los datos, se estudiará donde sus procesos son menos eficientes o existen mayores desperdicios tanto energéticos como de materiales.
- 4) Proponer y dimensionar las medidas tecnológicas elegidas y realizar una evaluación económica. En caso de que estas propuestas no cumplan con los objetivos propuestos, o excedan el presupuesto establecido, se transicionará hasta encontrar el equilibrio entre reducción del consumo y de las emisiones, pero siempre dentro del marco económico.
- 5) Aplicar estas mejoras. En función de los datos, se propondrán mejoras tecnológicas para mejorar el rendimiento de los procesos objeto de estudio
- 6) Realizar otro estudio del impacto ambiental con las mejoras aplicadas. De nuevo usando la herramienta de SimaPro
- 7) Comparar los datos de ambos estudios y sacar conclusiones. Esto ayudará a la empresa a tener evidencia empírica de las mejoras tanto ambientales como económicas con los nuevos procesos y servirá de ejemplo a otras empresas para que apliquen estas medidas y reduzcan su impacto medioambiental.

3.3. Recursos a emplear

3.3.1. SimaPro

Existen diferentes softwares para la generación de análisis de ciclo de vida. Entre ellos se encuentra OpenLCA, SimaPro o GaBi [29]. La elección de un programa u otro es muy importante en función a las funciones y bases de datos que desees. Por las exigencias de este proyecto, se ha optado por utilizar la herramienta de SimaPro.



Figura 10. Logo de SimaPro

SimaPro [30] es un software con más de 30 años en el mercado y con presencia en más de 80 países. Las empresas lo aplican en diferentes ámbitos como informes de sostenibilidad, diseño de producto, medición de huella hídrica y de carbono... Con SimaPro se puede

- Modelar y analizar fácilmente ciclos de vida complejos de forma sistemática y transparente.
- Medir el impacto medioambiental de diferentes productos y servicios en todas las etapas del ciclo de vida.
- Identificar los puntos críticos en cada eslabón de la cadena de suministro, desde la extracción de materias primas hasta la fabricación, distribución, uso y eliminación.

SimaPro hace uso de una gran cantidad de bases de datos para analizar procesos o materiales, entre las que se encuentran (Agri-footprint, ELCD, ecoinvent, EXIOBASE, Environmental Footprint databes...)

3.3.2. Engineering Equation Solver (EES)

EES es un software para el cálculo de un conjunto de ecuaciones algebraicas. Este programa es capaz de resolver de manera eficiente un centenar de ecuaciones algebraicas no lineales acopladas, así como ecuaciones diferenciales. El programa fue desarrollado en la Universidad de Wisconsin-Madison. El programa incorpora además funciones termofísicas, lo cual es interesante en este proyecto para el cálculo de las bombas de calor.

3.3.3. Polysun

Polysun es un software de gama alta orientado a la planificación, el diseño y la optimización de sistemas de producción energética [31]. En el caso de este proyecto, se va a utilizar para dimensionar los tubos de vacío que sustituirán al gas natural en la producción de calor. A través de este programa se simularán los consumos y la instalación a dimensionar.



Figura 11. Logo de Polysun

3.3.4. Ressspi

Ressspi es un software de código abierto para la simulación de instalaciones y aplicaciones solares. Ressspi es una calculadora online, desarrollada en Python 3, desarrollada para establecer un marco común en el benchmarking de tecnologías de concentración solar. Es capaz de estimar tanto la producción energética como aspectos financieros, además, es muy flexible en su simulación y posee una gran potencia pese a ser un programa gratuito.[32]



Figura 12. Logo de RESSPI

En este proyecto será utilizado para dimensionar los colectores de concentración (captadores solares térmicos de concentración lineal, tipo Fresnel, proporcionados por la empresa SOLATUM, misma empresa que desarrolla el software Ressspi).

3.3.5. PVSyst

PVSyst es un software de simulación usado a nivel global y en numerosos estudios y proyectos reales, para el dimensionamiento y optimización de sistemas de generación de energías renovables (eólica y solar) [33]



Figura 13. Logo de PVSyst

Será utilizado en este proyecto como complemento a los dos programas anteriores y para simular el procesos global que incluye, tanto los tubos de vacío, como los colectores de concentración

4. Análisis de Resultados

La sección de resultados será dividida en 3 partes. La primera incluirá el dimensionamiento de la parte de energía solar del proyecto, es decir, tanto el colector solar de tubo de vacío como la energía solar térmica de concentración. La siguiente parte será la bomba de calor, al igual que en la parte de solar, en esta etapa se describirá el proceso de dimensionamiento de la bomba de calor. En los tres casos, se realizará una evaluación económica de la viabilidad de cada tecnología, en el que se estudiará la inversión requerida para realizar estas mejoras y se concluirá si merece la pena desarrollarlas para mejorar la eficiencia de los procesos de la planta, así como reducir su impacto medioambiental, o, por el contrario, el coste es demasiado alto como para ser asumible, en cuyo caso habría que buscar otras mejoras más asequibles, o reducir el número de tecnologías a implementar. En cualquier caso, siempre se buscará la posibilidad que mejor aplique a cada caso, iterando hasta encontrar el mejor resultado.

La tercera y última parte será la correspondiente al análisis de ciclo de vida, en el que se estudiará el impacto medioambiental que produce la fábrica en su actividad, al incluir las mejoras tecnológicas elegidas, y se comparará con su impacto medioambiental, previo a esta incorporación.

Se procede ahora a describir cada una de las partes.

4.1. Energía solar

El primer paso para dimensionar energía solar de autoconsumo, es saber el consumo energético anual que tiene la fábrica. Estos datos fueron facilitados por la propia fábrica, que tiene un registro mensual de consumos. Se facilitó la información correspondiente a los últimos 5 años (de 2015 a 2019) y se decidió que se trabajaría en base a los datos de 2016 puesto que eran los más completos en todos los ámbitos y los que mostraban una muestra más significativa al ser un año “medio”, en el resto de años, por diferentes motivos, algunos datos incluidos en el informe no eran significativos.

Estos datos se dividen en un primer lugar en consumo de pintura, de gas y de agua para los diferentes procesos de la fábrica. Como ya se ha explicado anteriormente, este proyecto se va a centrar exclusivamente en el análisis de los procesos de chapa, pintura y montaje y, particularmente, en el consumo de electricidad, gas y agua. Consumo que se pretende reducir. En la siguiente imagen se puede ver un esquema de los diferentes consumos a lo largo de estos 3 procesos, y, recuadrados en rojo, los consumos en los que se centrará este proyecto.

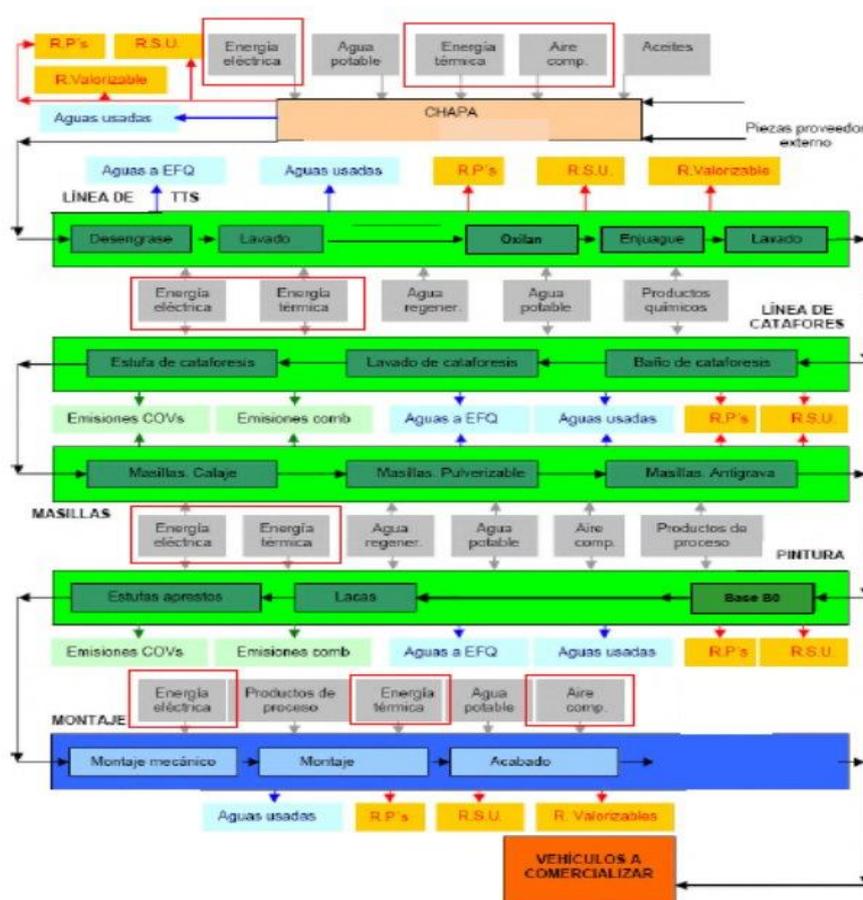


Figura 14. Procesos y consumos en la fábrica de PSA [Informe PSA]

Los datos de consumo de 2016 se dividían también, dentro de cada mes, en función de si eran días festivos, días laborables o días de regulación (días en los que no se trabaja por diferentes motivos, ya sea calibración de máquinas, auditorias...) y también se dividía el consumo en P (previsto), A (autorizado, budgeted) y R (real), a continuación, se incluye una imagen del consumo de gas en pintura a modo de ejemplo para ver cómo se presentaban estos datos.

			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ACUM.	
SUPER FIJO	Festivo	P	199	124	31	18	8	17	9	1.054	5	5	70	165	1.705	
		A	268	151	32	30	14	25	15	1.554	7	6	85	141	2.327	
		R	276	257	173	40	47	13	11	104	18	15	94	28	1.076	
FIJO	Regulación	P	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	24	32	
		A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	0	20	30
		R	0	0	0	0	0	3	0	95	11	3	61	3	176	
	Confort	P	733	821	691	460	246	156	68	53	203	198	666	582	4.877	
		A	988	1.001	712	782	441	227	112	78	262	227	809	497	6.133	
		R	1.134	1.325	1.126	750	537	128	14	8	163	106	747	410	6.447	
	Alumbrado	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VARIABLE	Producción	P	1.044	1.355	1.525	1.307	1.204	1.379	1.025	785	1.387	763	1.697	1.178	14.649	
		A	1.407	1.651	1.570	2.222	2.156	2.011	1.683	1.157	1.788	873	2.061	1.005	19.584	
		R	1.993	2.302	1.916	1.752	1.950	1.924	1.283	813	1.352	747	1.555	845	18.431	
TOTAL (000) KWh		P	1.976	2.301	2.247	1.784	1.458	1.552	1.102	1.892	1.596	974	2.432	1.948	21.264	
		A	2.663	2.803	2.313	3.034	2.610	2.263	1.809	2.788	2.057	1.114	2.955	1.663	28.073	
		R	3.403	3.884	3.214	2.542	2.534	2.067	1.307	1.020	1.543	872	2.458	1.286	26.130	
VEHICULOS FABRIC.		P	5.707	7.050	7.050	5.332	5.073	5.580	4.058	3.044	5.580	3.551	4.819	3.656	60.500	
		R	7.696	8.586	7.258	9.060	9.079	8.134	6.774	4.415	7.190	4.071	5.843	3.120	81.226	

CALENDARIO	Festivos	P	14	8	10	9	11	8	15	19	8	16	10	16	144
		R	14	10	13	9	11	8	15	19	8	16	10	17	150
	Regulación	P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	3
		R	0	0	2	1	0	4	1	2	6	6	7	7	36
	Producción	P	17	21	21	21	20	22	16	12	22	14	19	14	219
		R	17	19	16	20	20	18	15	10	16	9	13	7	180

Figura 15. Consumos de gas de pintura en la fábrica de PSA [Informe PSA]

Como se puede ver en la imagen, también se incluye el número de vehículos fabricados.

Llegados a este punto hubo que tomar las primeras decisiones de diseño para la posterior simulación. La primera decisión que se tomó fue que, como era de esperar, se trabajaría con los resultados reales, ignorando los de P y A, y la segunda es que, aunque se utilizaran los resultados de 2016, no se tendrían en cuenta los días de regulación, es decir, había que calcular el consumo en MWh por día, en cada mes, y sumarle al consumo de ese mes, los días de regulación como si hubieran sido días de producción.

No se puede dimensionar una planta de autoconsumo para que sustituya el 100% de los procesos de esta fábrica, puesto que el sol no brilla todas las horas del día y la acumulación de energía, a día de hoy, no es eficiente. Por ello, es importante decidir qué porcentaje del consumo se va a suplir al establecer un proyecto de este tipo, y este porcentaje nunca debería ser inferior al 20%.

Por otra parte, en este tipo de proyectos, se suele hablar de horas equivalentes, es decir, las horas reales al año, en las que se puede aprovechar el sol como fuente de energía. Lo común es que este valor oscile entre 1100 y 1500 horas equivalentes (de las 8760 horas que tiene un año). En el caso de este proyecto, se estableció que se utilizarían 1200 horas equivalentes para el dimensionamiento de ambos elementos.

Establecidas ya estas primeras premisas necesarias, se procedió al dimensionamiento de los dos elementos elegidos, el colector solar de tubo de vacío, y la térmica de concentración.

El colector se utilizará para la climatización exclusivamente de la nave de fabricación (las oficinas no serán tenidas en cuenta para el dimensionamiento) y los Fresnel (tipo de tecnología escogida dentro de la energía solar térmica de concentración) se utilizarán para alimentar con calor los hornos del proceso de pintura

4.1.1. Colector solar de tubo de vacío

Lo primero que se hizo fue elegir el modelo de tubo de vacío que se utilizaría. Tras una búsqueda y comparación, dos marcas fueron seleccionadas. Viessmann, con el Vitosol 200T, y Soltigua, con alguno de los muchos modelos que ofrece esta marca. Finalmente se optó por el primero, el colector Vitosol 200-T SPE 3,26 m².

Una vez elegido esto se empezaron a realizar diferentes simulaciones. En un primer momento se optó por colocar los colectores solares en serie con un tanque de almacenamiento, y posteriormente una caldera, para que, si estos no eran capaces de cubrir la demanda, entrara la caldera para suplir la diferencia. Sin embargo, tras una serie de simulaciones se llegó a la conclusión de que esta disposición no era la más óptima, y se optó por pasar a una disposición en paralelo, donde el principio de funcionamiento es el mismo (cuando los colectores no llegan, que actúe la caldera) pero estando ambos elementos antes del tanque de almacenamiento. En las dos siguientes figuras se puede observar el cambio que se realizó al pasar la caldera de serie, a paralelo, los datos de cada elemento no son los reales, como se obtuvieron cada uno de ellos se contará a continuación.

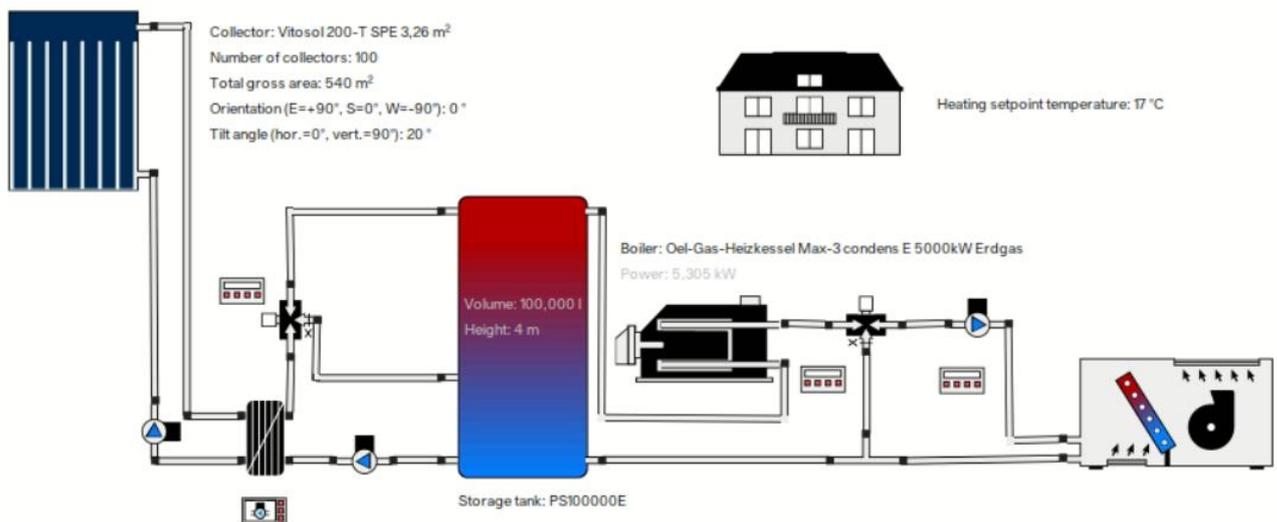


Figura 16. Primera disposición de la simulación. En serie [Informe Polysun]

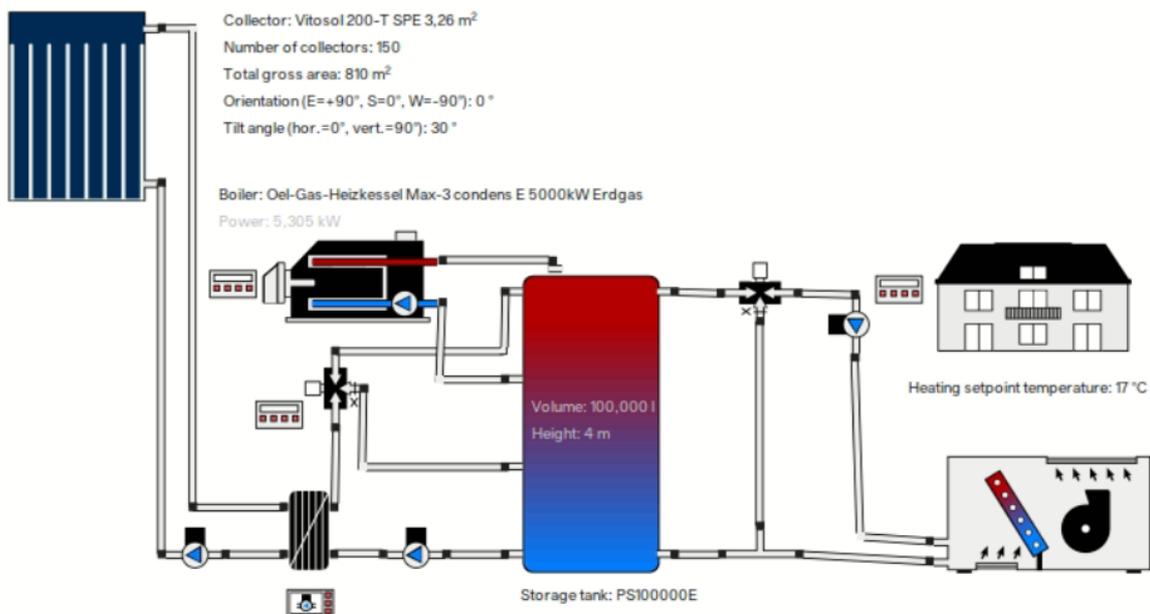


Figura 17. Segunda disposición para la simulación. En paralelo [Informe Polysun]

La demanda anual de la fábrica que se quería suplir con esta tecnología, era de 7.600 MWh. Por lo que todos los elementos de la simulación debían ser de unas dimensiones enormes (tanque de casi un millón de litros, una caldera de 5.000 kWh, tuberías de diámetros enormes, casi 5.000 colectores...). Esto llevaba a una situación en la que el tiempo de cada simulación no era admisible, por lo que se tomó la decisión de escalar el proyecto a unas dimensiones inferiores, con el fin de que el software fuera capaz de simular en un tiempo reducido.

Para ello se dividió la demanda en mil unidades, pasando de 7.600 MWh a 7.600 kWh y con ella, todos los demás elementos. Esto permitió iteraciones rápidas y un trabajo más fluido.

Realizar la simulación a escala tiene sus inconvenientes. El primero y más importante es que se asume que la progresión del precio de cada uno de los elementos, así como su rendimiento y eficiencia, avanzan de manera lineal, es decir, que si una caldera de 5 kWh cuesta 100 €, uno de 5.000 kWh, valdrá un 100.000 de euros. O que si un tanque de 300 litros con 4 colectores es suficiente para cubrir 7.600 kWh de demanda, un tanque de 300.000 litros con 4.000 colectores, será suficiente para cubrir una demanda de 7.600 MWh.

Esta primera suposición puede llevar a error por el simple hecho de que la escalabilidad no sea lineal, sin embargo, es suficiente para hacerse una idea aproximada del desempeño y el coste que tendrá la instalación, y como introducir los valores reales no era una opción viable, se optó por seguir este proceso de escalabilidad. A continuación se presentan todos los resultados obtenidos para esta simulación. En los Anexos se puede encontrar un informe más detallado sobre esta simulación. Es importante tener en mente que todos los resultados han de multiplicarse x1000 para obtener el resultado real que se implementará en la fábrica

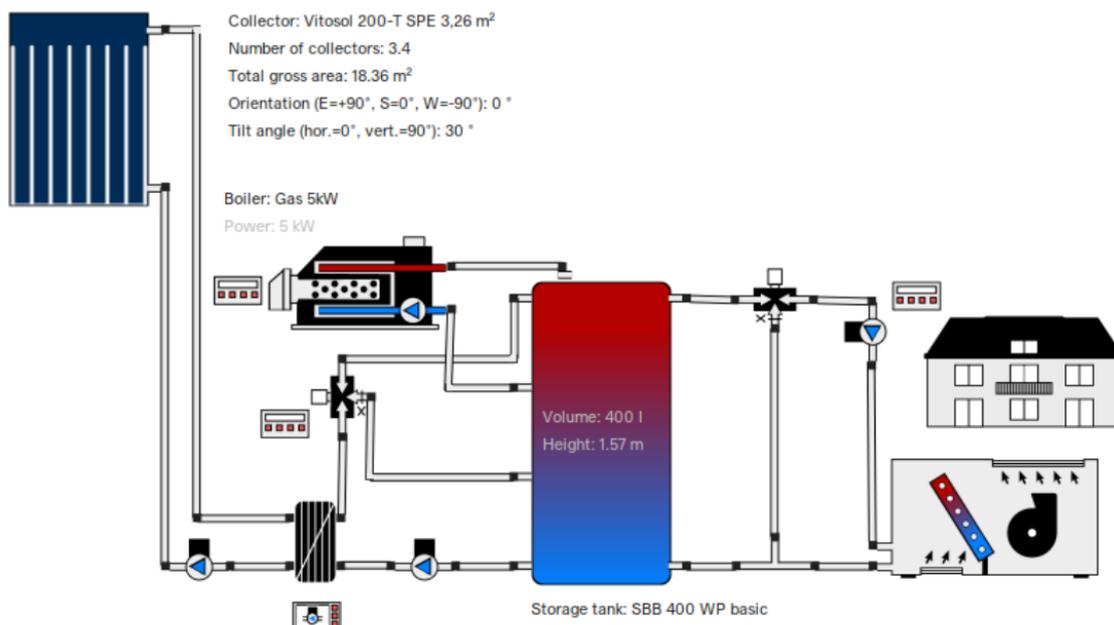


Figura 18. Disposición final de los colectores de vacío [Informe Polysun]

Como se puede ver en la imagen anterior, los elementos finales escalados son:

- Un tanque de almacenamiento SBB 400 WP basic de 1,57 metros de altura y 400 litros de capacidad.
- 3,4 colectores Vitosol
- 3 Fan coils con un salto térmico de 75 a 85°C
- Una caldera de 5 kWh

El objetivo que se quería lograr era suplir un 50% de la demanda al implementar esta solución. Una vez establecido este objetivo, se realizaron varias simulaciones con diferentes parámetros en busca de la opción más óptima. La solución más óptima sería aquella que tuviera un ahorro energético en kWh/m²/año más alta, con un consumo de

agua en l/m² lo menor posible. A continuación se muestra una tabla con alguna de estas iteraciones y coloreada en verde la opción más óptima

Fr Solar	Acumulación (L)	Colectores	kWh/m ² /año	l/m ²
49,80%	700	2,8	545	76,687
50,30%	500	3,1	493,8	49,476
50,30%	400	3,4	455	36,088
49,80%	300	4	382,2	23,006
47,60%	200	6	301,3	10,225

Tabla 1. Iteraciones de simulaciones [Fuente propia]

A continuación se puede ver una información general del sistema térmico solar en valores anuales.

Collector area	18.4 m ²
Solar fraction total	50.3%
Total annual field yield	5,348.4 kWh
Collector field yield relating to gross area	291.3 kWh/m ² /Year
Collector field yield relating to aperture area	454.6 kWh/m ² /Year
Max. fuel savings	566 m ³ (gas): [Natural gas H]
Max. energy savings	5,942.6 kWh
Max. reduction in CO2 emissions	1,376 kg

Figura 19. Información general del sistema [Informe Polysun]

Como se puede ver, la fracción solar es mayor de 50% y se reducen las emisiones de CO₂ en más de 1 tonelada anual y se obtiene un ahorro energético de más de 450 kWh/m²/año.

Para que una instalación solar sea atractiva para un empresario que se está planteando implantar esta solución, la fracción solar que debe cumplir debe ser siempre mayor del 20-30%. Esta instalación al ser del 50% resultado muy atractivo por sus beneficios y bajo coste. Se podría optimizar los resultados y reducir costes para lograr a un 30% de fracción solar, pero no es eso lo que se busca en este proyecto.

La siguiente gráfica muestra la fracción solar que se cubra con el sistema a lo largo de los meses.

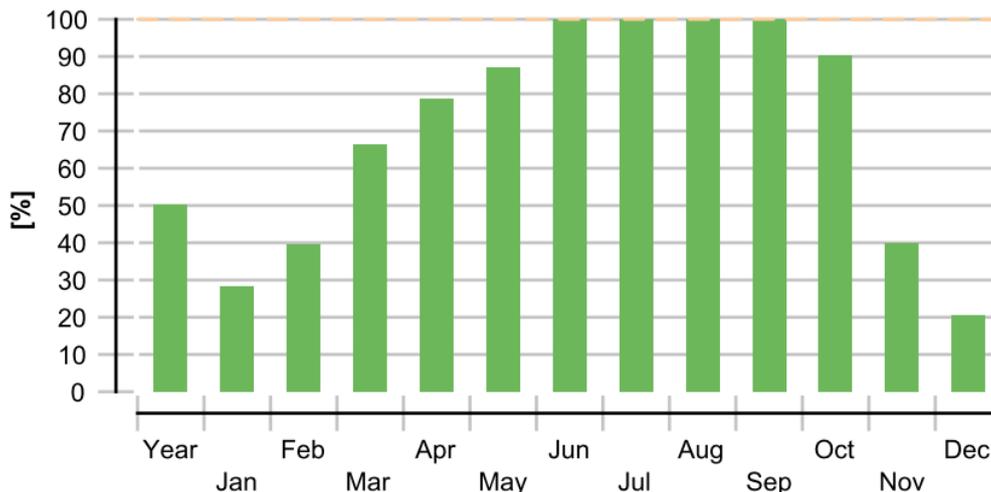


Figura 20. Fracción solar cubierta por mes [Informe Polysun]

Como era de esperar, los meses de verano son los que más se aprovecha la energía solar, frente a los de invierno que, al tener menos horas de luz, el aprovechamiento baja a valores alrededor del 30% de aprovechamiento.

Sin embargo, esta instalación se utilizaría en la parte de confort de la fábrica, es decir, es el encargado de alimentar los sistemas de calefacción y, en verano, no se utiliza la calefacción, por lo que, aunque en verano sea cuando más calor se aprovecha, también es la época del año en la que menos de este calor se tiene que verter al sistema. De ahí que su aprovechamiento sea del 100%, porque se utiliza muy poco.

La siguiente imagen muestra la cantidad de energía solar que se vierte al sistema a lo largo del año en kWh

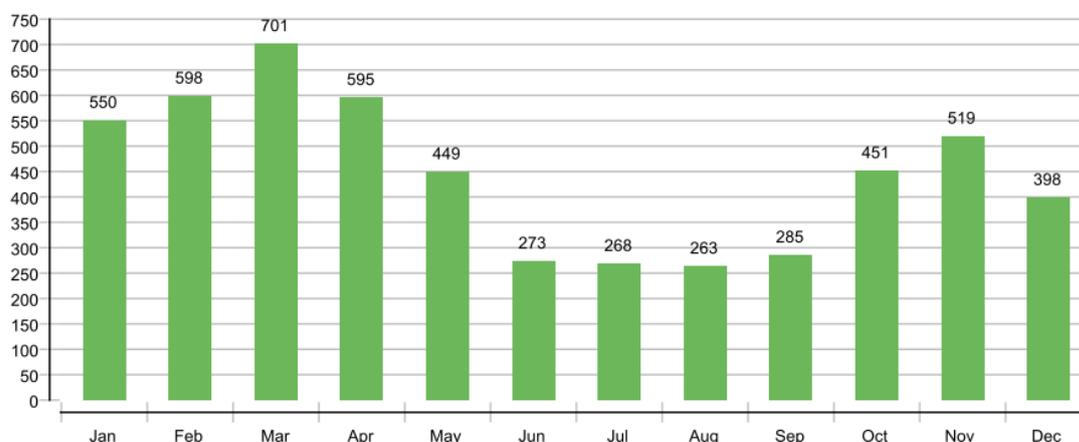


Figura 21. Energía solar que se vierte al sistema a lo largo del año. [Informe Polysun]

En contraposición a esto, a continuación se muestra la cantidad de energía que la caldera se ve obligada a verter al sistema cuando los paneles solares no son capaces de cubrir toda la demanda.

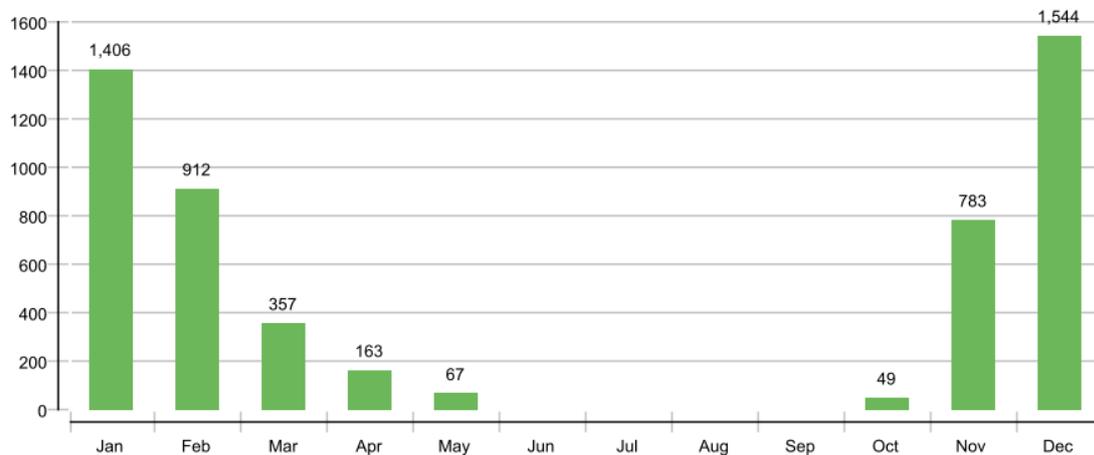


Figura 22. Energía no solar que se vierte al sistema a lo largo del año [Informe Polysun]

Como se puede apreciar, en los meses de verano la caldera está completamente desactivada, sin embargo, en los de invierno, debe aportar un calor que supone casi el doble de lo que se aporta con energía solar. Esto es típico en esta clase de instalaciones y uno de los mayores inconvenientes con los que se encuentra siempre la energía solar.

Si existieran formas de almacenamiento energético eficientes, se podría reducir enormemente el uso de la caldera y aprovechar el calor del verano, para los meses de invierno.

A continuación, se muestra la cantidad de electricidad que se necesita mensualmente para hacer funcionar este sistema, como se puede ver, estos números son ridículos en comparación con la energía que aporta el propio sistema

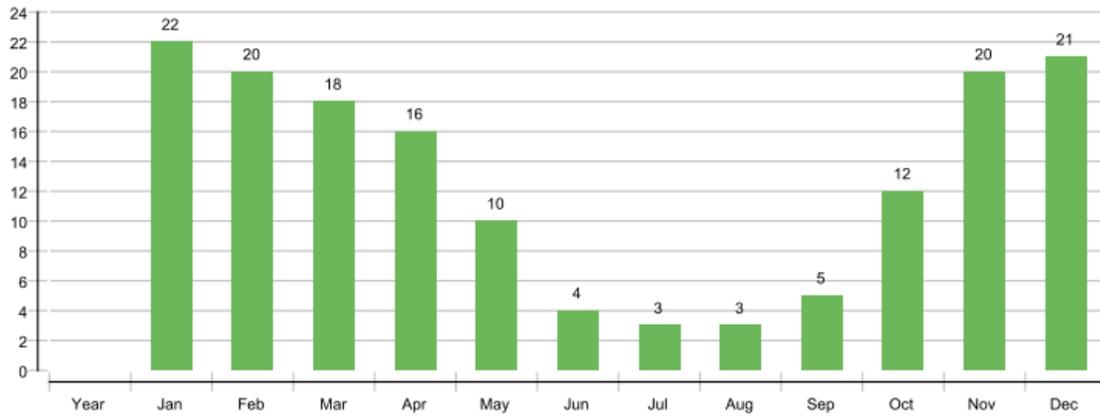


Figura 23. Energía consumida por el sistema [Informe Polysun]

Por último, resulta interesante mostrar el diagrama de flujo de energía de Sankey de la instalación para saber que energía entra y por qué fuente, cuanta energía se consume por el sistema y cuanta se pierde en el proceso, y demás flujos energéticos.

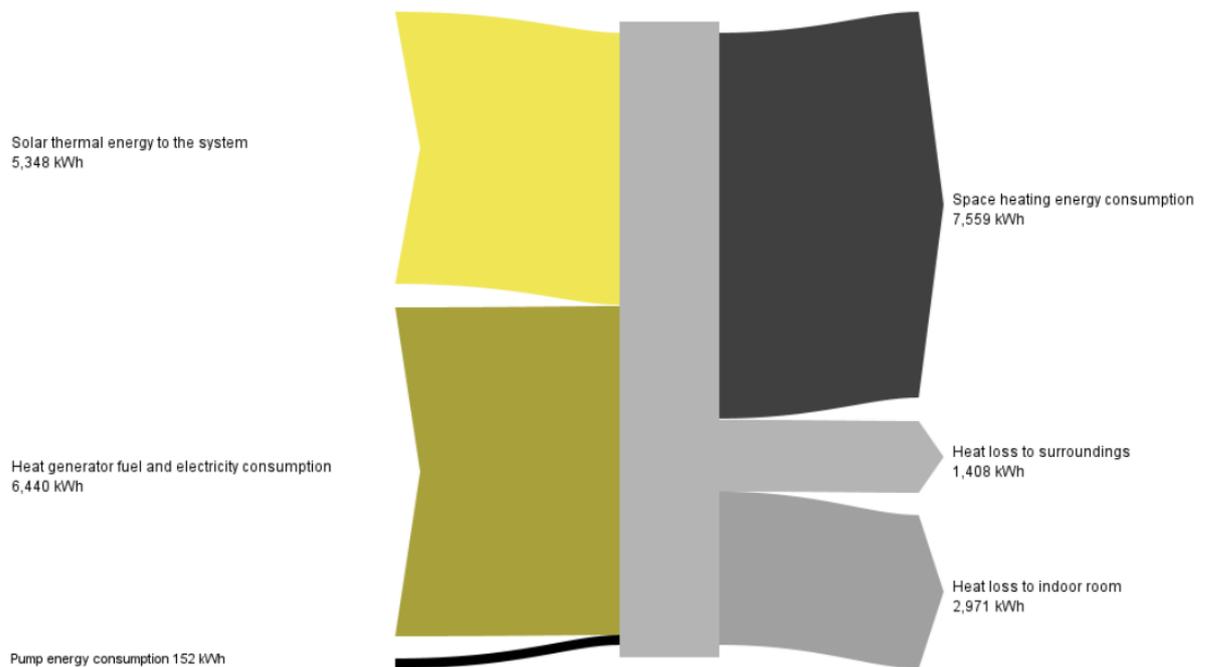


Figura 24. Diagrama de flujo energético. Diagrama de Sankey [Informe Polysun]

4.1.2. Energía solar térmica de concentración

Como ya se ha explicado con anterioridad, la energía solar térmica de concentración se utilizará para proporcionar el calor necesario en el proceso de pintura. Para ello, se utilizará la tecnología Fresnel.

La empresa que proporcionara los colectores se llama SOLATOM. Especialista en diseñar concentradores solares para la generación de calor a altas temperaturas [34].

La instalación solar estará formada por una serie de colectores agrupados en filas. Estas filas se unen en serie y a la vez, entre ellas, se unen en paralelo. El número de colectores por fila se ha diseñado para que en una fila se alcance el salto de temperatura de diseño (en este caso de alrededor de 10°C puesto que el agua sobrecalentada se recibe a una temperatura de uno 170-175°C y hay que entregarla a 185°C). El número de filas ha sido diseñado para satisfacer la demanda de la industria.

Para establecer el diseño más óptimo de la instalación, Se realizaron diferentes simulaciones cambiando diferentes parámetros como el número de colectores, de filas, el porcentaje de demanda que se quería cubrir con los colectores solares... Finalmente se decidió que se cubriría un 20% de la demanda y se compararía si la inclusión de almacenamiento térmico era rentable o no. En la siguiente imagen se incluye un resumen de la instalación solar, que es constante para todos los casos que se compararán a continuación.



Colector simulado: SOLATOM [Ref:www.solatom.com]

Tipo de óptica: Fresnel lineal

Peso del captador: 900 kg/módulo (25kg/m²)

Número de colectores: 240 (Superficie total 9504.0 m²)

Disposición : (20x12) 20 filas con 12 colectores cada uno

Tipo de ubicación: clean_ground

Cimentación: No necesario

Monitorización de datos: Incluido on-line los primeros 4 años

Mantenimiento requerido: Incluido los primeros 4 año(s). Es recomendable limpiar los espejos mensualmente.

Figura 25. Resumen instalación solar [Informe Ressspi]

Con respecto al esquema de integración, la conexión del sistema solar se realizará en paralelo con la caldera. El sistema solar se encargará de calentar el fluido a la misma temperatura que lo hace la caldera, por lo que la conexión se puede realizar directamente a colector de impulsión. Aquí se presenta la primera diferencia entre las dos posibilidades que se van a comparar (con almacenamiento térmico o sin él). La siguiente imagen recoge ambos casos.

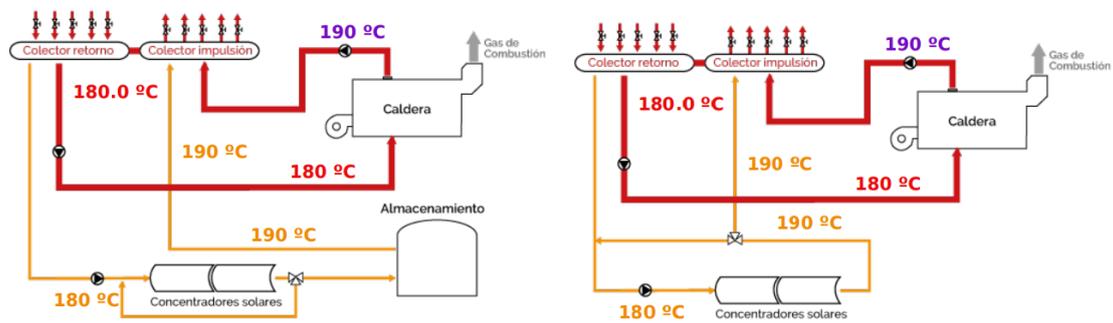


Figura 26. Esquemas de la instalación con y sin almacenamiento térmico [Fuente propia]

El fluido que se va a utilizar como transportador del calor va a ser agua sobrecalentada a 20 bar. Todo el circuito está en fase líquida, no existe evaporación. A la entrada del sistema solar entrará a unos 180 °C (esta temperatura puede variar entre los 175 – 185°C). El campo solar calentará el fluido hasta una temperatura aproximada de 185 – 190 °C , correspondiente a la temperatura de salida de la caldera. Dado que la temperatura de salida del campo solar es la misma que la salida de caldera, el campo solar se puede conectar directamente a la red de distribución de la fábrica.

A continuación, se presentan los diagramas T-s y h-s del agua, que no se ven afectados con la inclusión o ausencia de almacenamiento térmico.

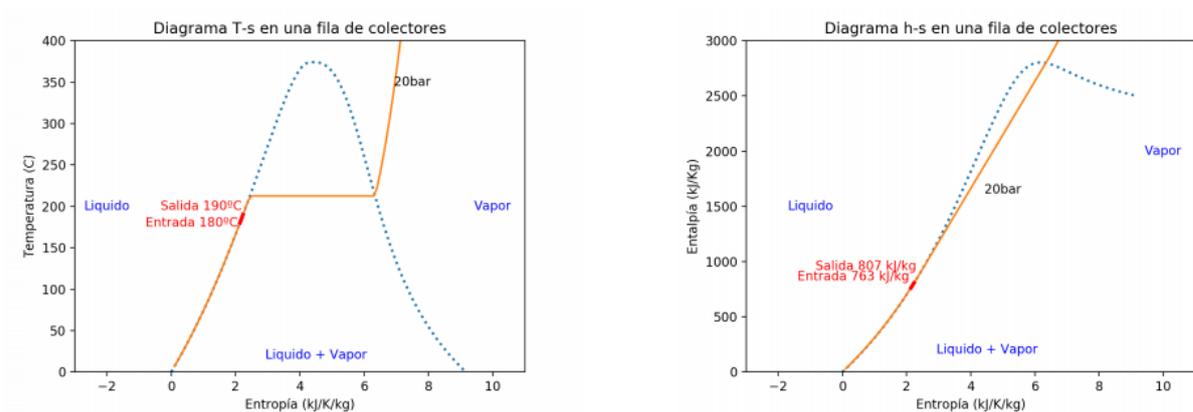
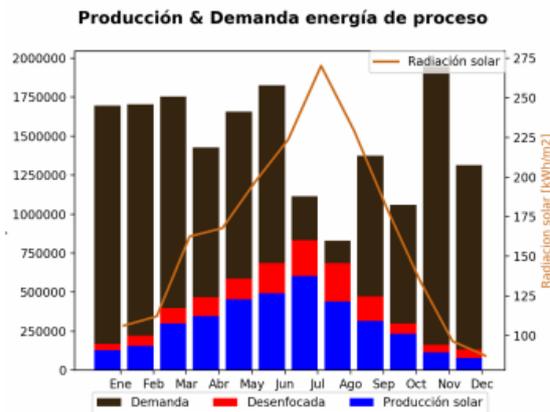


Figura 27. Diagramas T-s y h-s del agua [Informe Ressspi]

Se procede ahora a comparar la producción solar durante un año para ver las diferencias presentes en el caso de incluir almacenamiento térmico o no hacerlo.



Fichero meteorológico: "Madrid.dat" (Meteonorm v.7)
Energía solar en la ubicación: 1968.0 kWh/año

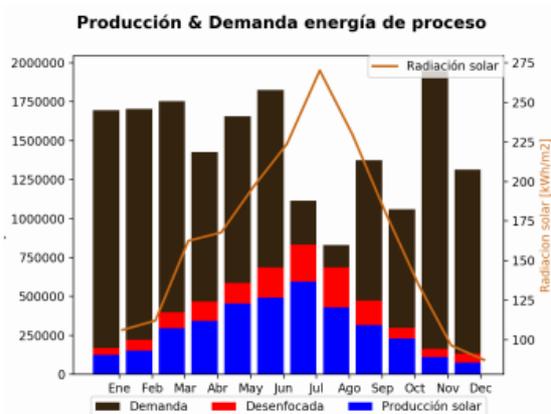
Producción solar anual bruta: 5125834.5 kWh
Producción solar anual suministrada: 3662474.4 kWh
Porcentaje global de utilización: 71.45128105170615 %

Demanda anual de energía de la industria: 17697600.0 kWh
% entre energía solar brutay demanda total: 29.0%
% entre energía solar suministraday demanda total: 20.7%
Producción anual por módulo: 21357.6 kWh

Producción solar en kWh por mes:

Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón
Ene	169813.4	7.5%	Feb	223020.7	9.1%
Mar	400108.4	17.1%	Abr	469385.3	24.4%
May	587124.1	27.5%	Jun	685692.4	27.1%
Jul	833387.0	54.2%	Ago	686684.9	53.0%
Sep	473674.1	23.1%	Oct	300314.6	21.9%
Nov	163997.9	5.9%	Dic	132631.6	5.9%

Figura 28. Producción solar con almacenamiento térmico [Informe Ressspi]



Fichero meteorológico: "Madrid.dat" (Meteonorm v.7)
Energía solar en la ubicación: 1968.0 kWh/año

Producción solar anual bruta: 5125834.5 kWh
Producción solar anual suministrada: 3618786.6 kWh
Porcentaje global de utilización: 70.59897506862977 %

Demanda anual de energía de la industria: 17697600.0 kWh
% entre energía solar brutay demanda total: 29.0%
% entre energía solar suministraday demanda total: 20.4%
Producción anual por módulo: 21357.6 kWh

Producción solar en kWh por mes:

Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón
Ene	169813.4	7.4%	Feb	223020.7	9.0%
Mar	400108.4	16.9%	Abr	469385.3	24.2%
May	587124.1	27.4%	Jun	685692.4	26.9%
Jul	833387.0	53.4%	Ago	686684.9	51.6%
Sep	473674.1	22.9%	Oct	300314.6	21.7%
Nov	163997.9	5.7%	Dic	132631.6	5.7%

Figura 29. Producción solar sin almacenamiento térmico [Informe Ressspi]

Como se puede ver, las diferencias de eficiencia solar en ambos casos no son muy significativas, de hecho, se puede apreciar como el desenfoque (en rojo, energía que no se puede aprovechar porque o el almacenamiento está al completo, o no se dispone de almacenamiento) es muy similar en ambos casos. Para que el desenfoque se viera eliminado en el caso del almacenamiento, habría que aumentar el volumen del depósito (en la simulación el depósito incluido es de 50 mil litros) y esto no es viable tanto por cuestiones de espacio, como financieras.

Al incluir almacenamiento térmico y sin variar ninguna de las otras premisas, el porcentaje de la demanda que se cubre con los colectores solares aumenta de un 20.4% a un 20.7% y el porcentaje global de utilización se ve aumentado de un 10.6% a un 71.4%. Estos incrementos son pequeños, pero pueden suponer un gran incremento en números absolutos. Para saber si realmente merece la pena incluir o no el almacenamiento térmico, hay que estudiar la variación en los diferentes indicadores económicos. Pero previamente

a ello, se va a estudiar los detalles de la producción tanto en verano y en invierno, así como el desempeño del almacenamiento a lo largo de las estaciones.

Las gráficas que se mostrarán a continuación incluyen el comportamiento de la instalación solar durante la primera semana de enero y de junio (unas 170 horas aproximadamente cada una). El esquema que se va a incluir corresponde al caso en el que se incluyen el almacenamiento térmico (un depósito de 50.000 litros), por lo que cuando la energía solar producida es mayor que la demanda de la industria, la energía solar sobrante se almacena (columna naranja en la gráfica) para poder ser utilizada posteriormente (Columna verde). Las columnas azules representan la energía útil que se entrega a la industria realmente. Cuando hay exceso de energía y el almacenamiento está lleno, el sistema solar se desenfoca (en rojo) automáticamente.

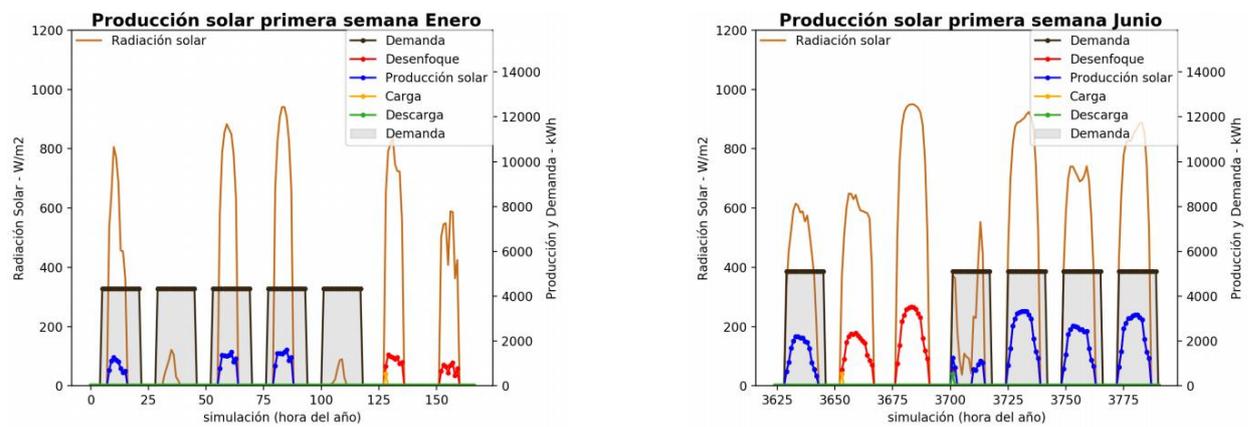


Figura 30. Producción solar en dos semanas del año [Informe Ressspi]

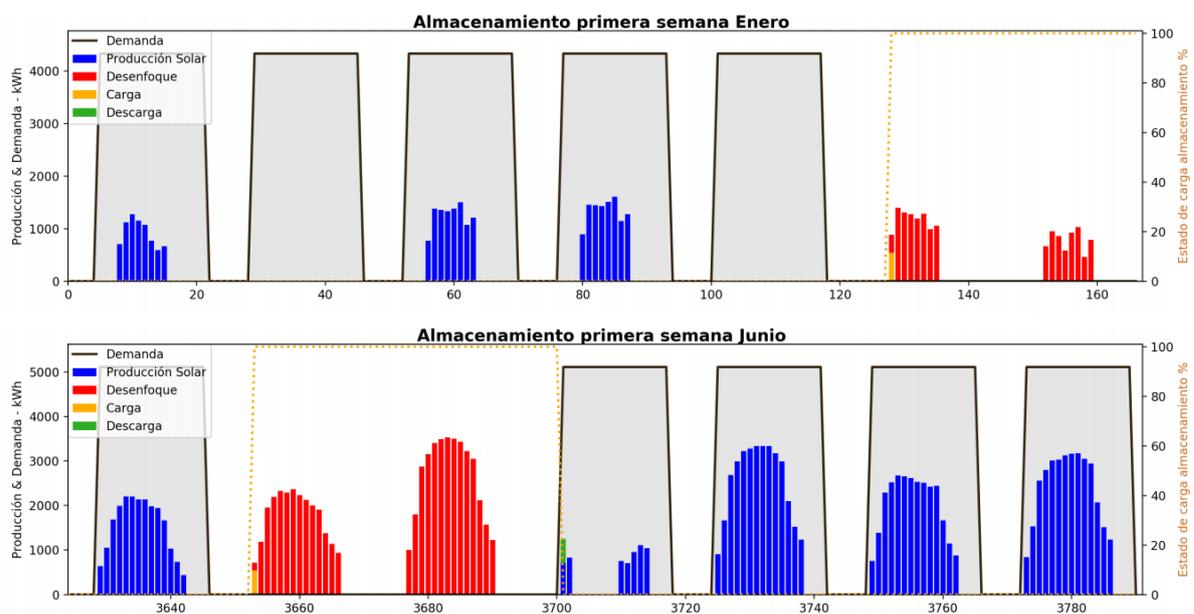


Figura 31. Almacenamiento en dos semanas del año [Informe Ressspi]

Como se puede apreciar en la imagen, tanto la línea verde como la naranja (descarga y carga respectivamente) son prácticamente inexistentes (no confundir la línea de descarga con la de radiación solar). Incluir una tecnología que tiene un porcentaje de utilización tan bajo, no es rentable. En la siguiente tabla se incluyen ciertos datos con respecto al almacenamiento solar.

Carga	43687,8	kWh
Descarga	43687,8	kWh
Desenfoque	1463360,1	kWh
Utilización	71,50%	
Desenfoque	28,50%	

Tabla 2. Datos de almacenamiento solar [Fuente propia]

Quedando un incremento de la energía por almacenamiento de tan solo el 1.2% (Con respecto a la opción de sin almacenamiento). Como ya se ha explicado anteriormente, el desenfoque se vería disminuido, y la carga y descarga aumentadas, si se incluyera un depósito de mayores dimensiones (200.000 o incluso 500.000 litros) pero estas opciones no son viables por lo que no se van a tener en cuenta en la comparación.

Con los datos estudiados ya se ve claramente que la opción más viable, y la que se incluirá finalmente, es la que no utiliza almacenamiento térmico, sin embargo, se ha de realizar el análisis económico para dar un último argumento a esta hipótesis.

Se incluirán ahora, por lo tanto, dos tablas con los flujos de caja de 20 años de ambas opciones, y una tabla comparativa de diferentes indicadores financieros.

Sin Depósito			
año	Ahorro solar + emisiones CO2 + Mantenimiento	Factura energética industria	Cash Flow acumulado
año 0	0 €	553.049 €	-1.684.805 €
año 1	141.002 €	553.049 €	-1.543.803 €
año 2	147.788 €	586.232 €	-1.396.015 €
año 3	154.980 €	621.406 €	-1.241.035 €
año 4	162.604 €	658.691 €	-1.078.432 €
año 5	141.885 €	698.212 €	-936.546 €
año 6	150.451 €	740.105 €	-786.095 €
año 7	159.532 €	784.511 €	-626.563 €
año 8	169.156 €	831.582 €	-457.407 €
año 9	179.359 €	881.477 €	-278.048 €
año 10	190.174 €	934.366 €	-87.875 €
año 15	254.794 €	1.250.392 €	1.049.335 €
año 20	341.272 €	1.673.307 €	2.572.675 €

Tabla 3. Flujo de caja 20 años sin depósito [Fuente propia]

Con Depósito			
año	Ahorro solar + emisiones CO2 + Mantenimiento	Factura energética industria	Cash Flow acumulado
año 0	0 €	553.049 €	-1.701.069 €
año 1	142.705 €	553.049 €	-1.558.364 €
año 2	149.572 €	586.232 €	-1.408.792 €
año 3	156.851 €	621.406 €	-1.251.941 €
año 4	164.567 €	658.691 €	-1.087.375 €
año 5	143.946 €	698.212 €	-943.429 €
año 6	152.615 €	740.105 €	-790.813 €
año 7	161.805 €	784.511 €	-629.008 €
año 8	171.546 €	831.582 €	-457.462 €
año 9	181.872 €	881.477 €	-275.590 €
año 10	192.817 €	934.366 €	-82.773 €
año 15	258.218 €	1.250.392 €	1.069.904 €
año 20	345.739 €	1.673.307 €	2.613.373 €

Tabla 4. Flujo de caja 20 años con depósito [Fuente propia]

Comparación KPIs financieros						
	Inversión inicial	TIR	TIR en 10 años	Periodo de retorno	Ahorro anual por coste de CO2	Valor Neto Actual
Con Depósito	1.701.069 €	10,4%	-3,3%	11 años	28.252 €	2.267.634 €
Sin Depósito	1.684.805 €	10,4%	-3,4%	11 años	27.915 €	2.231.404 €

Tabla 5. Tabla comparativa de las dos opciones [Fuente propia]

Como se puede ver claramente, los resultados son muy similares, siendo la inversión inicial sin depósito algo inferior, así como el valor neto actual. El TIR y el periodo de retorno son similares en ambos casos por lo que, si el almacenamiento térmico aportase cambios significativos en aprovechamiento solar, sería la opción más eficiente, sin embargo, no merece la pena realizar una inversión de 16.263,50 € para conseguir un incremento del aprovechamiento de la energía de tan solo el 1.2%. De nuevo, si se pudiera considerar un depósito de mayores dimensiones, quizá la conclusión variaría, pero no es el caso.

Por último, y exclusivamente con fines informativos, se van a recoger todos los indicadores importantes de las dos posibilidades en una tabla, y se incorporará también, un nuevo supuesto.

En esta fábrica en particular, se trabaja de lunes a viernes en dos jornadas de trabajo de 8 horas cada una (en total de las 06:00 a las 22:00). Para el tercer supuesto, se va a estudiar cuales serían los resultados si en esta fábrica se trabajara todos los días de la semana y se incluyera el depósito de 50.000 litros.

Comparativa de los 3 casos			
KPI	Con depósito	Sin depósito	7 días
Ahorro solar año 1	142.705 €/año	141.002 €/año	185.019 €/año
Inversión	1.701.069 €	1.684.805 €	1.701.069 €
% Ahorro combustible	20.7%	20.4%	26.8%
TIR	10.4 %	10.4 %	13.8 %
Retorno	Año 11	Año 11	Año 9
Producción energética	3.662.474 kWh/año	3.618.786 kWh/año	4.748.462 kWh/año
CO2 Evitado	732,5 Ton/año	723,8 Ton/año	949,7 Ton/año

Tabla 6. Comparativa de los 3 casos [Fuente propia]

Marcado en verde se encuentra la opción más óptima a nivel energético y económico. Obviamente para el caso de trabajar 7 días a la semana no se ha tenido en cuenta el incremento en personal y gasto salarial que esta opción conllevaría, pero resulta interesante como el ahorro de combustible es mucho mayor que en los otros dos casos, el periodo de retorno desciende en 2 años y el CO2 evitado, así como el TIR, presentan una mejora significativa. Además, el desenfoque (aunque no esté presente en la tabla) es prácticamente inexistente en este caso, lo que implica un máximo aprovechamiento de la energía recibida por los colectores.

En los anexos “Dimensionamiento de los Fresnel con depósito”, “Dimensionamiento de los Fresnel sin depósito” y “Dimensionamiento de los Fresnel con sábados y domingos” se desarrolla cada uno de los casos de forma más completa.

La solución definitiva y la que se implantará en la fábrica de coches será la de alimentación solar sin almacenamiento térmico que, aunque se sacrifique un poco de eficiencia (mínima en este caso), se reduce en cerca de 20.000 € la inversión inicial y se ajusta más al presupuesto establecido para el proyecto.

4.2. Bombas de calor

Al igual que en la parte de solar, lo primero que hubo que hacer fue estandarizar (o normalizar) los datos que la fábrica proporcionaba del año 2016. Para ello se establecieron todos los días de regulación como días de trabajo. También se tuvieron que convertir los kWh consumidos por la fábrica de Poder Calorífico Superior (PCS) a Poder Calorífico Inferior (PCI) en el caso de los consumos correspondientes a la Central Térmica (consumos destinados a los sistemas de calefacción). En la siguiente tabla se incluye un resumen de estos consumos.

	Total KWh-PCS Normalizado	Total kWh Normalizado	PCI Normalizado	Unidad
Enero	1.769.437	5.657	2.182.306	kWh
Febrero	1.822.840	5.393	2.248.169	kWh
Marzo	1.333.220	4.692	1.644.304	kWh
Abril	700.672	1.973	864.163	kWh
Mayo	0	0	0	kWh
Junio	0	0	0	kWh
Julio	0	0	0	kWh
Agosto	0	0	0	kWh
Septiembre	0	0	0	kWh
Octubre	9.505	6	11.723	kWh
Noviembre	1.719.615	6.904	2.120.859	kWh
Diciembre	1.385.560	10.605	1.708.857	kWh
ANUAL	8.740.849	35.229	10.780.381	kWh

Tabla 7. Consumos Central Térmica (calefacción) [Fuente propia]

Como se puede ver y como es lógico, los consumos en los meses de verano son nulos puesto que no es necesaria la calefacción.

Se procedió de una forma similar con los consumos de los hornos de pintura. La siguiente tabla muestra los consumos normalizados de los hornos de pintura.

Hornos Normalizados		
Mes	Unidad	Valor
Enero	kWh	1.745.095
Febrero	kWh	1.992.222
Marzo	kWh	1.877.918
Abril	kWh	2.146.097
Mayo	kWh	1.953.799
Junio	kWh	2.216.319
Julio	kWh	1.595.193
Agosto	kWh	1.266.973
Septiembre	kWh	2.381.964
Octubre	kWh	1.539.678
Noviembre	kWh	2.106.669
Diciembre	kWh	1.492.795

Tabla 8. Consumos Hornos de Pintura [Fuente propia]

Estos consumos son mucho mayores que los consumos de calefacción y más uniformes a lo largo del año, por lo que tiene más sentido implementar las bombas de calor en esta parte que en la de calefacción. Sin embargo, a pesar de que la solución parece clara, se deben estudiar diferentes alternativas. En este caso se realizarán dos análisis. El primero será colocar un número de bombas (que habrá que dimensionar y sobretodo estudiar su viabilidad económica) en serie para alimentar los hornos de pintura. El segundo, establecer un numero de bombas en paralelo (de nuevo habrá que dimensionarlas y ajustarlas al presupuesto) con la posibilidad de, en los meses de verano, cuando no se necesita calor en la central térmica, derivar la generación de calor a los hornos de pintura. Previamente al dimensionamiento y estudio económico de ambas disposiciones, hubo que establecer ciertas premisas.

La fábrica disponía de alrededor de 100 focos de emisión de calor que se podrían aprovechar para alimentar las bombas (estas a su vez producirían un salto térmico de alrededor de 10 °C para proporcionar el calor necesario a la aplicación deseada) Así que en un primer momento hubo que agrupar estos focos tanto por temperatura (debían ser temperaturas uniformes para alimentar las bombas, no se pueden utilizar focos de calor con temperaturas muy dispares) como por cercanía para decidir cuáles serían aprovechados para alimentar las bombas. También hubo que descartar ciertos focos porque, como ya se ha dicho, los datos proporcionados eran de 2016, y desde entonces algunos de estos focos emisores de calor han desaparecido o han sido sustituidos por otros

A continuación, se muestra la tabla que se creó con los posibles focos a utilizar, habiendo ya quitado los focos eliminados y los que no serían aprovechables.

ID FOCO	NOMBRE	UBICACIÓN	TEMPERATURA (°C)	Caudal (Nm ³ /h)	Potencia (MW)
3P	Horno de masillas (entrada)	MASILLAS	111,2	2.502,0	1004,52
5P	Horno de masillas (salida)	MASILLAS	124,1	1.224,8	557,68
7P	Enfriador horno de masillas	MASILLAS	28	39.324	2133,51
9P	Cabina aplicac.B0 2º Extractor izdo.	B0	36,74	13.157,4	1193,78
10P	Cabina aplicac.B0 3º Extractor izdo.	B0	21,76	16.452	464,14
11P	Cabina aplicac.B0 4º Extractor izdo.	B0	15,33	14.552	20,04
13P	Cabina aplicac.B0 2º Extractor dcho.	B0	12,19	14.470	-169,70
14P	Cabina aplicac.B0 3º Extractor dcho	B0	41,24	13.260,9	1452,22
15P	Cabina aplicac.B0 4º Extractor dcho	B0	17,69	15.130	169,86
16P	Cabina aplicac.B0 5º Extractor dcho	B0	28,36	17.281	963,54
17P	Cabina aplicac.B0 6º Extractor dcho.	B0	16,82	11.262	85,54
19P	Extractor Túnel Ventilado B0	B0	33,33	13.987,5	1070,03
29P	Cabina lacas (entrada)	LACAS	34,79	41692,1	3443,45
30P	Cabina de lacas 1º Extractor izdo.	LACAS	24,87	14968,5	616,58
31P	Cabina de lacas 2º Extractor izdo.	LACAS	19,14	12486	215,73
33P	Cabina de lacas 4º Extractor izdo.	LACAS	15,60	11214	28,08
34P	Cabina de lacas 5º Extractor izdo.	LACAS	25,13	10978,3	464,13
35P	Cabina de lacas 6º Extractor izdo.	LACAS	22,20	13956,1	419,36
36P	Cabina de lacas 7º Extractor izdo.	LACAS	22,70	17418	559,74
37P	Cabina de lacas 8º Extractor izdo.	LACAS	30,98	10567	704,73
39P	Cabina de lacas 1º Extractor dcho	LACAS	42,25	13201,3	1501,33
40P	Cabina de lacas 2º Extractor dcho	LACAS	20,35	10489,8	234,22
42P	Cabina de lacas 4º Extractor dcho	LACAS	16,78	26926	200,03
43P	Cabina de lacas 5º Extractor dcho	LACAS	19,95	22177	458,14
44P	Cabina de lacas 6º Extractor dcho	LACAS	24,58	18062,3	722,16
45P	Cabina de lacas 7º Extractor dcho	LACAS	30,15	19736,4	1247,89
49P	Horno secado lacas (enfriador)	LACAS	25,3	21408	920,25
55P	Horno extracción (entrada)	LACAS	144,00	35124,7	18910,23
56P	Cuba cataforesis	CATAFORESIS	27,48	3206	166,98
59P	Enfriador horno cataforesis	CATAFORESIS	76,5	26143,8	6710,24
60P	Incinerador cataforesis II	CATAFORESIS	169,02	6640	4268,15
62P	Incinerador cataforesis I	CATAFORESIS	176,77	7982	5388,95
63P	Nuevos Boxes retoques	RETOQUES	17,57	68854	738,51
70P	Cabina preparación pinturas y limpieza de pistolas z. retoques	MONTAJE	20,8	6644	160,82
71P	Extracción GA circulating (sala mezclas)	CIRCULATING	22,6	12256	388,74

72P	Cabina retoques montaje (I)	MONTAJE	27,97	33510	1813,88
73P	Cabina retoques montaje (II)	MONTAJE	24,6	31578	1265,17
74P	Extracción antiguos boxes 1	RETOQUES	21,26	4525	118,22
75P	Extracción cortina entrada TTS	TTS	31,37	2420	165,33
81P	Grupo radiación horno cataforesis 1	CATAFORESIS	327,5	700	912,94
82P	Grupo radiación horno cataforesis 2	CATAFORESIS	303,9	768	926,05
83P	Extracción antiguos boxes 2	RETOQUES	23,55	6675	238,18
84P	Oxidador térmico regenerativo	LACAS	20,16	86466	1862,04
61C	Lavadora (GEFCO)	GEFCO	97,5	1429	492,02
76C	Caldera ASC Baños TTS 1	SALA CALDERAS TTS	202,2	931,3	727,60
77C	Caldera ASC Baños TTS 2	SALA CALDERAS TTS	199,7	492	379,25
78C	Caldera ASC Baños TTS 3	SALA CALDERAS TTS	152,6	925	531,20
79C	Caldera ASC 1 (Central Térmica)	CENTRAL TÉRMICA	209,3	2628	2131,37
80C	Caldera ASC 2 (Central Térmica)	CENTRAL TÉRMICA	202,9	2485	1948,92
81C	Caldera ASC 3 (Central Térmica)	CENTRAL TÉRMICA	198,0	3194,1	2439,46
82C	Caldera ASC 4 (Central Térmica)	CENTRAL TÉRMICA	174,7	3015,7	2009,96

Tabla 9. Posibles focos aprovechables [Fuente propia]

Tras un intenso estudio de las ubicaciones, temperaturas, espacio disponible para las bombas y demás factores a tener en cuenta, se redujo desde los 100 focos iniciales, a 5. A continuación se incluye en formato imagen, la tabla de los focos aprovechables, con algunos de sus datos más relevantes.

Foco	Ubicación	Tipo	Aplicación	T (°C)	Humedad (%)	V (m/s)	Q seco (Nm ³ /h)	Q*T (Nm ³ *°C/h)	T media (°C)	Q suma (Nm ³ /h)	enfriamiento (°C)	recuperable (kWt)
55P	EL.M-37	Horno extracción	Secado carrocerías	144,00	1,2	8,9	35.124,7		144		39,0	475,6
59P	EC.M-50	Enfriador horno ca	carrocerías	76,5	1,2	11,58	26.144		77		37	331,3
60P	EC.M-12	Incinerador cataforesis II	Incineración COVs	169,02	0,7	14,66	6.640,0	1.122.292,8	173	14.622,0	155,0	786,9
62P	EC.M-90	Incinerador cataforesis I		176,77	1,4	10,27	7.982,0	1.410.978,1				

CORRIENTES DE AGUA									
				T impulsión (°C)	T retorno (°C)	Caudal (m ³ /h)	DT (°C)	Q (kWt)	Q (kWt)
			Torre refrigeración	33	28	50	5	290,3	464,4
			Torre refrigeración	33	28	30	5	174,2	

Figura 32. Focos aprovechados [Fuente propia]

El motivo de que los focos que se aplican en la incineración de los COVs no estén subrayados en amarillo, es que, actualmente, estos focos no están activos, porque la

fábrica ha demostrado que el impacto ambiental que tiene liberar estos COVs a la atmósfera es menor que el impacto que tendría incinerarlos, sin embargo no se han deshecho de estos incineradores porque prevén que con la creciente concienciación y el aumento de restricciones a la hora de emitir partículas nocivas al ambiente, llegue un día en que tengan que usarlos. Además, si que serán aplicados en uno de los dos casos de estudio, el de las bombas en paralelo ya que en este caso de estudio se busca maximizar el aprovechamiento de las bombas y, en estas circunstancias, cuantos más focos, mejor.

En los anexos se incluye un documento de los diferentes focos de la fábrica, así como un plano de la disposición de estos en la fábrica.

A continuación se procedió a elegir las bombas que iban a ser utilizadas en el proyecto. El mundialmente conocido fabricante de sistemas de climatización, bombas, y demás sistemas industriales complejos, Carrier [35], fue contactado y tras la evaluación de su catálogo, se seleccionaron 4 tipos de bombas diferentes que se incluyen en la tabla siguiente con algunas de sus características.

Id	Modelo	Tº Entrada (°C)	Tº salida (°C)	Potencia (kW)	Consumo (kW)
1	61XWHHZE05	35	40	707	208
2	61XWHHZE05	28	33	612	202
3	61XWHHZE03	35	40	438	131
4	61XWHHZE03	28	33	376	127

Tabla 10. Modelos de bombas a emplear [Fuente propia]

Como se puede ver, son básicamente dos modelos con diferentes temperaturas de entrada y de salida que se utilizarán dependiendo de la aplicación que se la dé y sobretodo de la temperatura de los focos que las alimenten. En los anexos se incluye un breve informe más detallado con todas las características importantes de cada una de las bombas.

Al no tener por lo tanto que dimensionar las bombas, lo que determinará en que formato se implantarán las bombas (en serie para alimentar los hornos o en paralelo para ir tanto a hornos como a calefacción) será la evaluación económica.

Lo primero que se hizo fue calcular el precio medio anual (€/MWh) de la fábrica. Tanto la tarifa eléctrica como la de gas, en función de los kWh consumidos, el precio del kWh,

el precio total mensual (tanto fijo como indexado) el Impuesto HC, el IVA... quedando unos cálculos que se presentan a continuación.

TARIFAS ELÉCTRICAS

	P1			P2			P3			P4			P5			P6			precio medio €/MWh
	kWh	precio [€/kWh]	coste €	kWh	precio [€/kWh]	coste €													
1 enero	694.968	0,095193	66.156,09	1.065.852	0,082334	87.755,86	-	-	-	-	-	-	-	-	955.504	0,057469	54.911,859	94,93	
2 febrero	748.660	0,095193	71.267,19	1.160.234	0,082334	95.526,71	-	-	-	-	-	-	-	-	895.299	0,057469	51.451,938	96,10	
3 marzo	-	-	-	-	-	-	643.883	0,080918	52.101,72	1.065.126	0,069888	73.877,43	-	-	-	880.787	0,057469	47.744,498	84,32
4 abril	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.862.869	0,067053	124.910,96	900.117	0,057469	51.728,824	78,94
5 mayo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.862.347	0,067053	124.875,95	837.445	0,057469	48.217,127	79,13
6 junio	455.519	0,095193	43.362,22	383.252	0,082334	31.554,67	416.827	0,080918	33.728,81	634.171	0,069888	43.813,61	-	-	788.064	0,057469	45.289,250	91,19	
7 julio	936.528	0,095193	89.150,91	793.750	0,082334	65.352,61	-	-	-	-	-	-	-	-	854.902	0,057469	49.130,363	97,26	
8 agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.283.052	0,057469	131.204,715	70,96	
9 septiembre	-	-	-	-	-	-	667.563	0,080918	54.017,86	1.006.974	0,069888	69.569,82	-	-	756.869	0,057469	43.496,50	84,85	
10 octubre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.115.060	0,067053	74.768,12	688.919	0,057469	37.867,416	78,40
11 noviembre	-	-	-	-	-	-	541.355	0,080918	43.805,36	909.969	0,069888	62.867,94	-	-	749.116	0,057469	40.950,947	84,02	
12 diciembre	415.990	0,095193	39.599,34	656.046	0,082334	54.014,89	-	-	-	-	-	-	-	-	666.843	0,057469	38.222,800	93,69	
	3.251.665		309.535,75	4.059.134		334.204,74	2.269.628		183.653,76	3.616.240		249.838,79	4.840.276		11.176.917		642.326,243	292,1360	
																			2004114,302

precio medio anual
€/MWh
86,40

TARIFAS GAS

	Energía (precio fijo)			Energía (precio indexado)			IVA €	Impuesto IC €	Coste €	Terfía media €/MWh
	kWh	precio [€/kWh]	coste €	kWh	precio [€/kWh]	coste €				
1 enero	4.078.000	0,021	85.638,00	402.211	0,020384	8.198,67	2.419	20.213,76	116.469,74	26,00
2 febrero	3.889.000	0,021	81.669,00	1.049.288	0,020384	21.388,69	2.667	22.202,12	127.926,48	25,91
3 marzo	2.888.000	0,021	60.648,00	561.283	0,020384	11.441,19	1.863	15.529,88	89.481,68	25,94
4 abril	-	-	-	3.333.410	0,018246	60.821,40	1.800	13.150,50	75.771,94	22,73
5 mayo	-	-	-	1.732.367	0,018246	31.608,77	935	6.834,29	39.376,54	22,73
6 junio	-	-	-	859.929	0,018246	15.680,26	464	3.392,47	19.547,10	22,73
7 julio	363.000	0,01785	6.475,55	534.487	0,018118	9.683,84	485	3.496,09	20.144,11	22,45
8 agosto	407.000	0,01785	7.264,95	180.503	0,018118	3.270,35	317	2.279,04	13.131,59	22,35
9 septiembre	443.000	0,01785	7.907,55	763.563	0,018118	13.834,23	652	4.702,60	27.095,93	22,46
10 octubre	382.000	0,01934	7.387,88	38.315	0,019751	756,76	227	1.758,04	10.129,65	24,10
11 noviembre	1.631.790	0,01934	31.558,82	-	-	-	881	6.812,40	39.252,38	24,05
12 diciembre	672.867	0,01934	13.013,25	-	-	-	363	2.809,09	16.185,68	24,05
	14.754.657		301.567	9.455.356		176.694		594.515	594.515	24,21013
										594.515

precio medio anual
€/MWh
24,56

Figura 33. Resumen Tarifas eléctrica y de gas [Fuente propia]

Quedando un precio medio anual para la electricidad de 86,40 €/MWh y para el gas de 24,56 €/MWh.

Establecidas ya estas premisas, se procedió a realizar el análisis económico. Primero se realizó con el software EES (con este programa solo se avaluó el caso de las bombas en serie) donde, a parte de la evaluación económica, se simuló la estequiometría del proceso (las reacciones químicas que se producen dentro de la bomba cuando quemas metano, la cantidad de los subproductos que se obtienen (CO₂, H₂O, N₂ y O₂)). Así como la cantidad de aire necesaria para que se produzca la combustión.

Un breve informe de esta simulación se incluye en los anexos del proyecto.

Posteriormente a la evaluación en EES se realizó otra usando la herramienta de Excel para comprobar los resultados obtenidos en el programa anterior, y para realizar la evaluación del caso de colocar las bombas en paralelo. Las dos subsecciones siguientes incluyen los resultados obtenidos.

4.2.1. Evaluación económica de las bombas de calor en serie

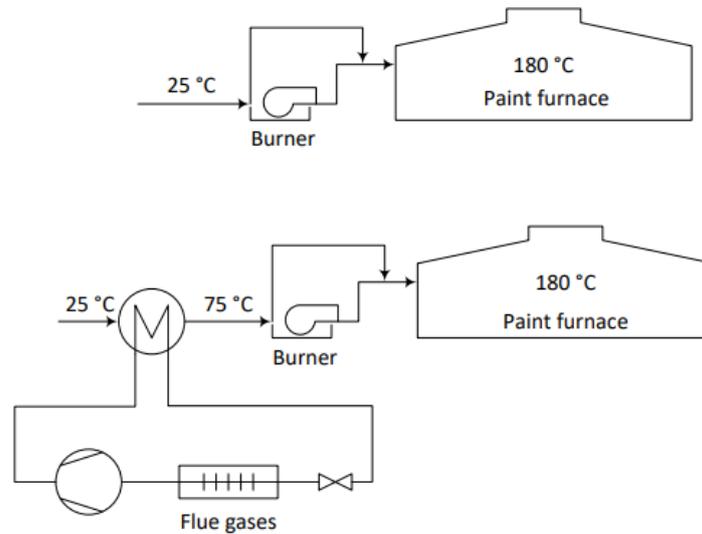


Figura 34. Disposición en serie [Fuente propia]

Tras un cierto número de iteraciones se llegó a la conclusión de que en este caso se utilizarán 3 bombas, las identificadas en la Tabla 9 como 1,2 y 3, puesto que es la opción más eficiente energéticamente y la más viable económicamente. Sin embargo, la bomba identificada como 1, no será utilizada al 100% de capacidad, puesto que esta bomba está asociada al foco 55P (Figura 25) y este foco tiene una capacidad de calor recuperable de 475 kWh frente a la capacidad frigorífica de la bomba que es de 514 kWh (mirar anexos tanto de la bomba como de los focos para más información) Así que, por ejemplo, para establecer la cantidad de energía consumida por este sistema de 3 bombas (2 funcionando al 100% de capacidad, y la tercera al 92,4%) la fórmula sería la siguiente

$$E = \frac{202 + 131 + 208 * \frac{475}{514}}{1000} * 2880 = 1513 \text{ MWh}$$

Donde

- 202, 131 y 208 son los consumos eléctricos de las bombas
- 2880 son las horas equivalentes de funcionamiento anuales de las bombas
- 1000 es para ajustar de kWh a MWh
- Y la fracción $\frac{475}{514}$ es para ajustar la utilización de dicha bomba.

Este tipo de ajuste del porcentaje de utilización se tuvo que realizar para otros cálculos a parte del consumo energético. El ahorro de gas, el CO2 evitado, el calor producido...

A continuación, se presentan los primeros datos, cálculos intermedios y los primeros resultados previos al análisis económico.

Datos		
T_g	27,26	€/Mwht-PCS
T_e	86,40	€/Mwhe
T_CO2	35,00	€/ton
r_g	0,023	pu
r_e	0,025	pu
r_CO2	0,08	pu
wacc	0,05	pu
N	15	años
H	2880	h
nº bombas 1	1	n
nº bombas 2	1	n
nº bombas 3	1	n
Precio Bomba 1 y 2	105408	€
Precio Bomba 3	91953	€
f_CO2	201,53	g/kWh
Días Laborables	216	días
Pot Bomba 1	612	kW
Pot Bomba 1.1	707	kW
Por Bomba 2	438	kW
Cons Bomba 1	202	kW
Cons Bomba 1.1	208	kW
Cons Bomba 2	131	kW

Tabla 11. Primeros datos bombas en serie [Fuente propia]

Con estos datos se calcularon las primeras funciones económicas, donde

- $k = \frac{1+r}{1+wacc}$
- $f_{sigma} = \begin{cases} \text{Si } k < 1,01 \text{ y } k > 0,99 \Rightarrow N \\ \text{Resto de casos} \Rightarrow \frac{k*(1-k^N)}{1-k} \end{cases}$
- $f_{amort} = \begin{cases} \text{Si } wacc < 0,01 \text{ y } wacc > 0 \Rightarrow \frac{1}{N} \\ \text{Resto} \Rightarrow \frac{wacc*(1+wacc)^N}{(1+wacc)^{N-1}} \end{cases}$

Cálculos		
k_g	0,97	p.u.
k_e	0,98	p.u.
k_CO2	1,03	p.u.
f_SIGMAg	12,26	p.u.
f_SIGMAe	12,44	p.u.
f_SIGMACO2	18,93	p.u.
f_amort	0,10	p.u.

Tabla 12. Primeras funciones económicas bombas en serie [Fuente propia]

Y con esto se pudieron calcular los primeros resultados con los que se haría la evaluación económica donde:

- INV es la inversión y es igual al número de bombas por el precio de cada bomba
- AG es el ahorro de gas
- E es la electricidad consumida por cada bomba
- CO2Egas es el CO2 que se emite al quemar el gas de los hornos
- Q_conseguido y ahorrado son la cantidad de calor que suplen las bombas
- CO2Eelec es el CO2 que se emite al utilizar las bombas
- CO2E es el balance de CO2 que se consigue al introducir las bombas y reducir el consumo de gas

Primeros resultados		
INV	302768,76	€
AG	4925	MWh
E	1513	MWh
CO2Egas	1102	Ton/año
Q_conseguido	1710	kW
Q_gas_Ahorrado	1710	kW
CO2Eelec	-500,803	Ton/año
CO2E	601,197	Ton/año

Tabla 13. Primeros resultados bombas en serie [Fuente propia]

Con estos datos ya se pudo estudiar los flujos de caja previsto para los próximos 15 años. Estos flujos de caja se presentan en la siguiente tabla

Flujos de Caja				
	Inversión [€]	Ingresos [€]	Gastos [€]	CF [€]
Año 0	-302.769			-302.769
Año 1		170.483	127.611	-259.897
Año 2		168.253	124.572	-216.217
Año 3		166.141	121.606	-171.682
Año 4		164.148	118.711	-126.245
Año 5		162.270	115.885	-79.859
Año 6		160.508	113.125	-32.477
Año 7		158.860	110.432	15.951
Año 8		157.325	107.803	65.474
Año 9		155.903	105.236	116.141
Año 10		154.592	102.730	168.003
Año 11		153.392	100.284	221.110
Año 12		152.302	97.897	275.516
Año 13		151.321	95.566	331.271
Año 14		150.450	93.290	388.431
Año 15		149.688	91.069	447.050

Tabla 14. Flujo de caja bombas en serie [Fuente propia]

Y por fin los indicadores económicos más importantes. El VAN el TIR y el periodo de retorno.

SOLUCIONES		
VAN	447.049,85 €	€
IRR	18,16%	€
Payback Per.	6,41	años

Tabla 15. Resultados económicos bombas en serie [Fuente propia]

En la siguiente gráfica se puede ver la evolución monetaria a lo largo del tiempo y el momento en el que se recupera la inversión.



Figura 35. Balance de las bombas en serie [Fuente propia]

La siguiente tabla, muestra los días laborables en cada mes, así como los consumos de los hornos de pintura y de la Central Térmica. La última columna muestra el porcentaje de los kW que cubren las bombas con respecto al total de los hornos de pintura.

Días laborables	Mes	Hornos Pintura	CT - PCI	Uds.	% Reducción
17	Enero	1.745.095	2.182.306	kWh	26,65%
19	Febrero	1.992.222	2.248.169	kWh	26,09%
18	Marzo	1.877.918	1.644.304	kWh	26,22%
21	Abril	2.146.097	864.163	kWh	26,77%
20	Mayo	1.953.799	0	kWh	28,01%
22	Junio	2.216.319	0	kWh	27,16%
16	Julio	1.595.193	0	kWh	27,44%
12	Agosto	1.266.973	0	kWh	25,91%
22	Septiembre	2.381.964	0	kWh	25,27%
15	Octubre	1.539.678	11.723	kWh	26,65%
20	Noviembre	2.106.669	2.120.859	kWh	25,97%
14	Diciembre	1.492.795	1.708.857	kWh	25,66%

Tabla 16. Porcentaje de reducción de consumo de gas con las bombas en serie [Fuente propia]

4.2.2. Evaluación económica de las bombas de calor en paralelo

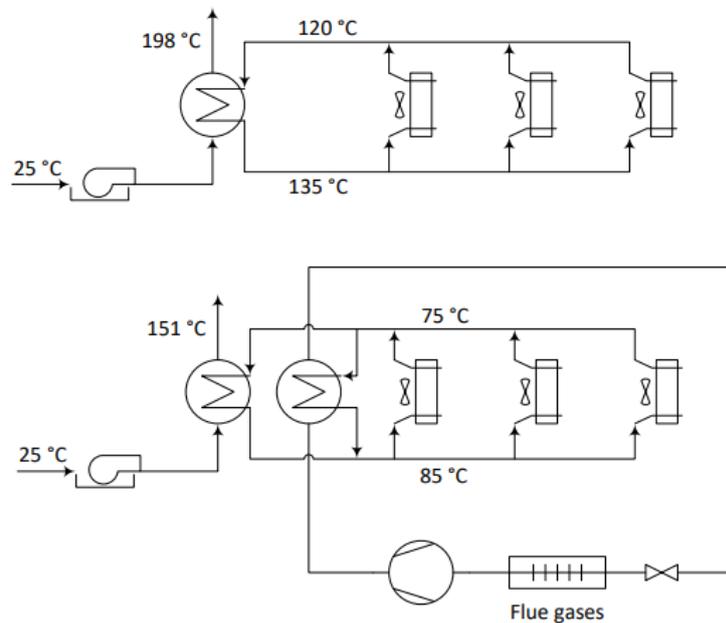


Figura 36. Disposición en paralelo [Fuente propia]

Como ya se ha explicado al principio de esta sección, en este caso se van a incluir los calores reutilizables de los incineradores COVs, lo que supone un incremento en la capacidad de utilización de 787 kWt, tal y como se puede ver en la Figura 25. Esto supone que se puedan incluir más bombas.

Tras una serie de iteraciones y por la forma en la que está ubicados los diferentes focos de calor, se llegó a la conclusión de que se utilizarían 4 bombas al completo. Las identificadas como 1, 2 y 3 en la Tabla 9. De la bomba identificada como 3, de hecho, se utilizarían dos bombas, es decir, un total de 4 bombas para este caso.

A modo de recordatorio para entender mejor los resultados, se vuelve a indicar que en este caso de estudio, las bombas entregarían calor tanto a los hornos de pintura como a los sistemas de calefacción.

Datos		
T_g	27,26	€/Mwht-PCS
T_e	86,40	€/Mwhe
T_CO2	35,00	€/ton
r_g	0,023	pu
r_e	0,025	pu
r_CO2	0,08	pu
wacc	0,05	pu
N	15	años
H	3456	h
nº bombas 1	1	n
nº bombas 1.1	1	n
nº bombas 2	2	n
Precio Bomba 1 y 1.1	105408	€
Precio Bomba 2	91953	€
f_CO2	201,53	g/kWh
Dias Lab + Regu	216	días
Pot Bomba 1	612	kW
Pot Bomba 1.1	707	kW
Por Bomba 2	438	kW
Cons Bomba 1	202	kW
Cons Bomba 1.1	208	kW
Cons Bomba 2	131	kW

Tabla 17. Primeros datos bombas en paralelo [Fuente propia]

Con estos datos se calcularon las primeras funciones económicas, donde

- $k = \frac{1+r}{1+wacc}$
- $f_{sigma} = \begin{cases} \text{Si } k < 1,01 \text{ y } k > 0,99 \Rightarrow N \\ \text{Resto de casos} \Rightarrow \frac{k*(1-k^N)}{1-k} \end{cases}$
- $f_{amort} = \begin{cases} \text{Si } wacc < 0,01 \text{ y } wacc > 0 \Rightarrow \frac{1}{N} \\ \text{Resto} \Rightarrow \frac{wacc*(1+wacc)^N}{(1+wacc)^{N-1}} \end{cases}$

Cálculos		
k_g	0,97	p.u.
k_e	0,98	p.u.
k_CO2	1,03	p.u.
f_SIGMAg	12,26	p.u.
f_SIGMAe	12,44	p.u.
f_SIGMACO2	18,93	p.u.
VAN	611.876,98 €	€
f_amort	0,10	p.u.

Tabla 18. Primeras funciones económicas bombas en paralelo [Fuente propia]

Y con esto se pudieron calcular los primeros resultados con los que se hizo la evaluación económica donde:

- INV es la inversión y es igual al número de bombas por el precio de cada bomba
- AG es el ahorro de gas
- E es la electricidad consumida por cada bomba
- CO2Egas es el CO2 que se emite al quemar el gas de los hornos
- Q_conseguido y ahorrado son la cantidad de calor que suplen las bombas
- CO2Elec es el CO2 que se emite al utilizar las bombas
- CO2E es el balance de CO2 que se consigue al introducir las bombas y reducir el consumo de gas

Primeros resultados		
INV	476284,73	€
AG	7119,24	MWh
E	2182,85	MWh
CO2Egas	1592,56	Ton/año
Q_con	2059,96	kW
Q_gas_Ahorrado	2059,96	kW
CO2Elec	-722,52	Ton/año
CO2E	870,04	Ton/año

Tabla 19. Primeros resultados bombas en paralelo [Fuente propia]

Se procede a continuación a estudiar los flujos de caja previsto para los próximos 15 años. Estos flujos de caja se presentan en la Tabla 20

Flujos de Caja				
	Inversión [€]	Ingresos [€]	Gastos [€]	CF [€]
Año 0	-476.285			-476.285
Año 1		246.423	-413.969	-413.969
Año 2		-350.495	-350.495	-350.495
Año 3		-285.794	-285.794	-285.794
Año 4		-219.798	-219.798	-219.798
Año 5		-152.438	-152.438	-152.438
Año 6		-83.646	-83.646	-83.646
Año 7		-13.350	-13.350	-13.350
Año 8		58.520	58.520	58.520
Año 9		132.037	132.037	132.037
Año 10		207.273	207.273	207.273
Año 11		284.302	284.302	284.302
Año 12		363.200	363.200	363.200
Año 13		444.043	444.043	444.043
Año 14		526.909	526.909	526.909
Año 15		611.877	611.877	611.877

Tabla 20. Flujos de caja bombas en paralelo [Fuente propia]

En la Tabla 21, se recogen los indicadores económicos más importantes. El VAN el TIR y el periodo de retorno.

SOLUCIONES		
VAN	611.876,98 €	€
IRR	17,50%	€
Payback Per.	7,16	años

Tabla 21. Resultados económicos bombas en paralelo [Fuente propia]

En la siguiente gráfica se puede ver la evolución monetaria a lo largo del tiempo y el momento en el que se recupera la inversión.



Figura 37. Balance de las bombas en paralelo [Fuente propia]

En la Tabla 22, se muestran los días laborables en cada mes, así como el sumatorio de los consumos de los hornos de pintura y de la Central Térmica. Posteriormente se incluye también los kWh cubiertos, así como el máximo que se podría cubrir (puesto que solo se aprovechan los calores residuales de ciertos focos) y la diferencia entre ambos. Por último, el porcentaje de reducción de consumo del gas.

días	Mes	Suma TOTAL	Cubierto	Max Posible	Diferencia	Uds.	Reducción Consumo
17	Enero	3.927.401	560.310	560.320	10	kWh	14,27%
19	Febrero	4.240.392	626.229	626.240	11	kWh	14,77%
18	Marzo	3.522.222	593.270	593.280	10	kWh	16,84%
21	Abril	3.010.260	692.148	692.160	12	kWh	22,99%
20	Mayo	1.953.799	659.189	659.200	11	kWh	33,74%
22	Junio	2.216.319	725.108	725.120	12	kWh	32,72%
16	Julio	1.595.193	527.351	527.360	9	kWh	33,06%
12	Agosto	1.266.973	395.513	395.520	7	kWh	31,22%
22	Septiembre	2.381.964	725.108	725.120	12	kWh	30,44%
15	Octubre	1.551.401	494.392	494.400	8	kWh	31,87%
20	Noviembre	4.227.528	659.189	659.200	11	kWh	15,59%
14	Diciembre	3.201.653	461.432	461.440	8	kWh	14,41%

Tabla 22. Porcentaje de reducción de consumo de gas con las bombas en paralelo [Fuente propia]

4.2.3. Comparación de los resultados

Desde el punto de vista económico, la inversión del caso de las bombas en serie es menor, por lo que esta opción resulta más atractiva. Sin embargo, también es menor el VAN, por lo que realmente, concluido el periodo de la inversión, la segunda opción sería más lucrativa. Por otro lado, el periodo de retorno es menor en el caso de las bombas en serie, de nuevo haciendo esta opción más atractiva, y el TIR es mayor, por lo que a nivel financiero esta opción es la ganadora.

Además, no se ha tenido en cuenta el resto de las herramientas necesarias para permitir una desviación de los calores producidos por las bombas de la parte de hornos de pintura, a la parte de calefacción, lo que supondría una inversión aun mayor, un periodo de retorno todavía más alto, y un valor neto actual menor del que se muestra en los resultados, lo que hace que esta opción sea no viable.

Desde el punto de vista energético, reducción de las emisiones y demás aspectos técnicos, el ganador sería el caso de las bombas en serie. Es verdad que su porcentaje de reducción del consumo de gas es menor que en el caso de las bombas en serie, pero esto es debido a que los consumos de sumar los hornos de pintura y la calefacción son desorbitados. En el caso de serie, al comparar solo con los hornos, el porcentaje de reducción resulta mejor. Excepto, claro está, en los meses de verano, que como la calefacción no está activa en esta época, el porcentaje de reducción en el segundo caso aumenta hasta casi el 35% frente al 26% del caso de las bombas en serie.

El ahorro de gas aumenta en el caso de las bombas en paralelo, lo que hace que disminuyan las emisiones de CO₂, pero estas mejorías no son tales como para considerar las pérdidas económicas que supondría implantarlas.

A la vista de estos resultados la opción que se va a implementar es la de las bombas en serie por su mayor viabilidad económica y porque la implementación de más bombas no supone una mejoría tecnológica importante.

4.3. Análisis de Ciclo de Vida

El último apartado de la sección de resultados, es el de análisis de ciclo de vida. En este apartado se realizará un estudio del impacto medioambiental que tiene la fábrica de coches, y se comparará con un estudio previo a la implementación de las medidas tecnológicas que se ha expuesto en este trabajo.

Para ello se utilizará la herramienta de SimaPro, que evaluará los efectos adversos de esta actividad industrial en diferentes indicadores ambientales (eutrofización, acidificación de los océanos, daño a la capa de ozono, efecto invernadero...) prestando especial atención a la emisión de gases de efecto invernadero (a la reducción de estos con respecto a valores anteriores).

Un análisis de ciclo de vida (LCA) tiene una estructura específica que se ha de seguir siempre que se realice un estudio de este tipo. Esta estructura, ya ha sido especificada en la parte de en el apartado 1. Introducción y se sigue a continuación.

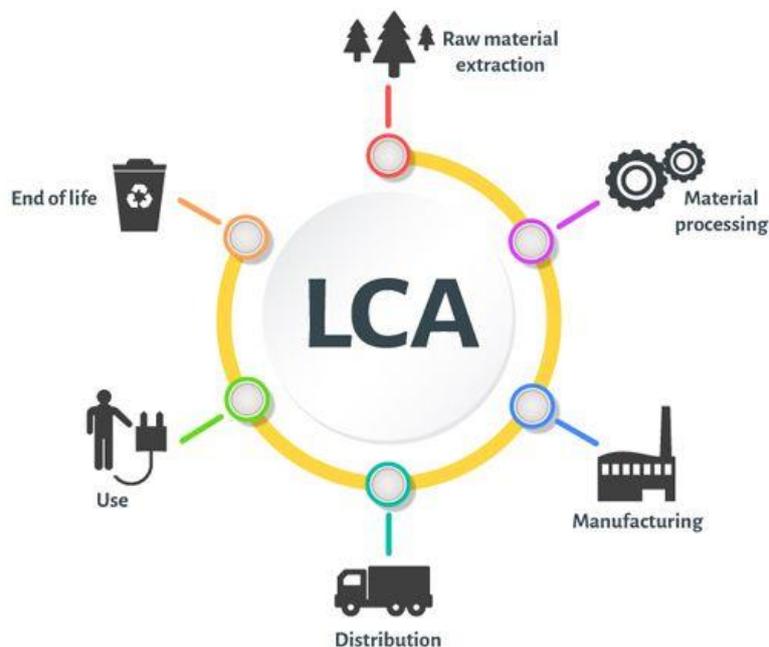


Figura 38. Partes de estudio de un LCA[36]

4.3.1. Objetivo y definición del alcance

El principal objetivo de este proyecto es realizar un estudio de impacto ambiental sobre algunos de los procesos que se producen en una fábrica de automóviles española, en concreto, estará centrado en los procesos de pintura, chapa y montaje. Primero se evaluará su impacto. Una vez conocidas sus debilidades (parte previa realizada a este proyecto), se implementarán mejoras tecnológicas (apartados anteriores) con el fin de mejorar la eficiencia y reducir el impacto ambiental de estos procedimientos. Posteriormente, se volvería a realizar el análisis del ciclo de vida con las mejoras ya aplicadas con el fin de comparar con los datos iniciales y tener muestras empíricas de las consecuencias de las mejoras aplicadas.

Los resultados de este estudio deben responder preguntas como. ¿Cómo de grande es la huella de carbono de esta empresa? ¿Qué pueden hacer para reducirlo? ¿Estas nuevas tecnologías suponen una mejora significativa? ¿Qué parte del medio ambiente se ve más afectada por la fábrica? ¿Ha merecido la pena la implementación de estas mejoras tecnológicas? ...

Los solicitantes de este estudio son la Fábrica de PSA, así como los profesores implicados en la Cátedra de Transición Energética (Cátedra de Transición Energética)

Este proyecto tendrá algunas limitaciones. Como se ha establecido, solo estará enfocado a los procesos de chapa, pintura y ensamblaje, y esta parte del ciclo de vida de un coche, representa menos del 1% del impacto ambiental total que tiene el automóvil si se tiene en cuenta el método de “desde la cuna hasta la tumba”[22]. Por tanto, la reducción del impacto no será tan significativa como si se centrara en el uso de un automóvil, que es la parte de su vida donde tiene el impacto más significativo pero, como ya se ha visto, el sector transporte es uno de los mayores contribuidores a las emisiones globales de gases de efecto invernadero [37], seguido muy de cerca de la actividad industrial, por lo que este proyecto contribuye a reducir el impacto medioambiental de dos de los grandes sectores que más contaminan, y cualquier iniciativa, por pequeña que sea, ayuda a lograr los objetivos de desarrollo sostenible y a tener un planeta más limpio.

Este proyecto no evaluará nada relacionado con los proveedores de materias primas, el alcance se limita a los procesos propios de la fábrica. Queda esta opción como un posible punto de mejora. Buscar proveedores más sostenibles, o concienciar a los existentes y presionarlos para que lleven prácticas más respetuosas con el medio ambiente.

Por otra parte, aunque se estudiará el impacto de materiales, como pintura o chapa, las mejoras que se propondrán se limitarán exclusivamente a reducir el consumo energético, como ya se ha visto, mediante unos colectores solares, unos tubos de vacío y unas bombas de calor.

La unidad funcional es, por tanto, medir el impacto ambiental de estos tres procesos en la producción de un solo automóvil.

4.3.2. Análisis de Inventario

El inventario de materiales y procesos se divide en las partes de pintura, chapa y montaje. Las medidas tecnológicas solo se han apartado a la parte del proceso de pintura, por lo que solo se estudiará la mejoría en el impacto en esta zona.

La parte de pintura tiene a su vez numerosos subprocessos, que han sido clasificados en

- Efluentes de Cataforesis y desengrase
- TTS Verde
- Base B0
- Cataforesis
- Lacas y Barniz
- Masillas
- Horneado final.

A continuación se incluyen unas capturas de pantalla del inventario del análisis. Estas imágenes han sido aportadas por Pablo Gómez Sánchez de Rojas, puesto que su Trabajo Final de Grado consiste en el estudio medioambiental de impacto de ciclo de vida previo a la instalación de las medidas tecnológicas que aquí han sido desarrolladas, y en este proyecto se incluye el estudio de la mejoría del impacto posterior a la implementación. Resulta imposible referenciar el proyecto de Pablo puesto que se está realizando simultáneamente a este.

Las imágenes presentan un resumen de los materiales y procesos de cada una de las 3 etapas, así como sus cantidades. Como se puede ver, la que presenta un mayor nivel de detalle es la etapa de pintura, puesto que, como ya se ha dicho, es la parte objeto de estudio.

Producto	Cantidad	Ud.	Proyecto
Water, completely softened (RoW) market for water, completely softened Cut-off, U	622,34	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Electricity, low voltage (ES) market for Cut-off, U	120	kWh	Ecoinvent 3 - allocati
Sodium hydroxide, without water, in 50% solution state (GLO) market for Cut-off, U	0,1648	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Hydrochloric acid, without water, in 30% solution state (RER) market for Cut-off, U	0,1625	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Sulfuric acid (RER) production Cut-off, U	0,05466	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Lime, hydrated, packed (RER) market for lime, hydrated, packed Cut-off, U	0,043	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Aluminium sulfate, powder (RoW) market for aluminium sulfate, powder Cut-off, U	0,02733	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Non-ionic surfactant (GLO) non-ionic surfactant production, fatty acid derivat Cut-off, U	0,085	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Sodium borates (GLO) market for Cut-off, U	0,732	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Ammonium chloride (GLO) amination of chlorosilane Cut-off, U	0,311	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Hexamethyldisilazane (GLO) amination of chlorosilane Cut-off, U	0,127	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Manganese (GLO) market for Cut-off, U	0,065	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Water, deionised (Europe without Switzerland) water production, deionised Cut-off, U	147,29	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Diethylene glycol (GLO) market for Cut-off, U	0,000182	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Polyester resin, unsaturated (GLO) market for Cut-off, U	0,1362	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Rutile, 95% titanium dioxide (GLO) rutile production, synthetic, 95% titanium dioxide Cut	0,1817	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Barite (RER) production Cut-off, U	0,1784	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Carbon black (GLO) production Cut-off, U	0,16225	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Melamine formaldehyde resin (RER) production Cut-off, U	0,0649	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Polyurethane, flexible foam (RoW) market for polyurethane, flexible foam Cut-off, U	0,2596	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Solvent, organic (GLO) production Cut-off, U	0,07788	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Compressed air, 1200 kPa gauge (RER) market for compressed air, 1200 kPa gauge Cut-c	300	m3	Ecoinvent 3 - allocati
Cationic resin (RER) market for cationic resin Cut-off, U	0,4558	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Barium sulfide (GLO) barium sulfide production Cut-off, U	0,2194	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Solvent, organic (GLO) production Cut-off, U	0,0844	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Polyvinylchloride, bulk polymerised (RER) polyvinylchloride production, bulk polymerisati	2,28259	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Acrylic varnish, without water, in 87.5% solution state (RER) acrylic varnish production, pr	1,7036	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Coating powder (GLO) market for Cut-off, U	1,7036	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Natural gas, from medium pressure network (0.1-1 bar), at service station (GLO) market fo	24	kg	Ecoinvent 3 - allocati

Figura 39. Análisis de inventario del proceso de pintura [Informe SimaPro]

Producto	Cantidad	Ud.	Proyecto
Electricity, low voltage (ES) market for Cut-off, U	38,07	kWh	Ecoinvent 3 - allocati
Water, completely softened (RoW) market for water, completely softened Cut-off, U	67,94	kg	Ecoinvent 3 - allocati

Figura 40. Análisis de inventario del proceso de montaje [Informe SimaPro]

Producto	Cantidad	Ud.	Proyecto
Polyester-complexed starch biopolymer (GLO) market for Cut-off, U	2,2825	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Steel, low-alloyed (GLO) market for Cut-off, U	295	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Welding, arc, steel (RER) processing Cut-off, U	10	m	Ecoinvent 3 - allocati
Water, completely softened (RoW) market for water, completely softened Cut-off, U	250,13	kg	Ecoinvent 3 - allocati
Electricity, low voltage (ES) market for Cut-off, U	86,79	kWh	Ecoinvent 3 - allocati

Figura 41. Análisis de inventario del proceso de chapa [Informe SimaPro]

Los aquí representados, son los datos previos a la instalación de las mejoras tecnológicas. Posteriormente a esta instalación se verán reducidos sustancialmente el consumo de gas por vehículo, así como el consumo energético general en todos los procesos.

4.3.3. Métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida

En este estudio se utilizarán dos métodos. Su información se obtiene en la base de datos de SimaPro y son el método CML-IA baseline y la Demanda Acumulativa de Energía (CED).

La línea base de CML-IA es una metodología de LCA desarrollada por el Centro de Ciencias Ambientales (CML) de la Universidad de Leiden en los Países Bajos.

El método CML-IA (línea de base) elabora el enfoque orientado a problemas (punto medio). La Guía CML proporciona una lista de categorías de evaluación de impacto agrupadas en:

A: Categorías de impacto obligatorias (indicadores de categoría utilizados en la mayoría de las LCA)

B: Categorías de impacto adicionales (existen indicadores operativos, pero a menudo no se incluyen en los estudios de LCA)

C: Otras categorías de impacto (no hay indicadores operativos disponibles, por lo tanto, imposible de incluir cuantitativamente en el LCA)

En caso de que se disponga de varios métodos para las categorías de impacto obligatorias, se selecciona un indicador de referencia, basado en el principio de las mejores prácticas disponibles. Estos indicadores de referencia son indicadores de categoría en el "nivel intermedio" (enfoque orientado a problemas)". Se recomiendan indicadores de referencia para estudios simplificados. La guía proporciona directrices para la inclusión de otros métodos e indicadores de categorías de impacto en caso de estudios detallados y estudios ampliados.

Solo los indicadores de línea de base están disponibles en el método CML en SimaPro (basado en la hoja de cálculo CML Excel con factores de caracterización y normalización). En general, estos indicadores no se desvían de los de la hoja de cálculo. En caso de que la hoja de cálculo contenga sinónimos de nombres de sustancias ya disponibles en la lista de sustancias de la base de datos de SimaPro, se utilizan los nombres existentes. Se hace una distinción para las emisiones al suelo agrícola y al suelo industrial. Las emisiones al suelo agrícola se aclaran colocando "agrícola" en la columna

"subcompartimento", mientras que las emisiones al suelo industrial están en blanco. Las emisiones al agua de mar se indican con 'océano', mientras que las emisiones al agua dulce están en blanco (asumimos que todas las emisiones al agua en los registros de procesos existentes son emisiones a agua dulce).

Agotamiento de los recursos abióticos

Dos categorías de impacto: agotamiento abiótico (elementos, reservas finales) y agotamiento abiótico (combustibles fósiles)

El agotamiento abiótico (elementos, reservas finales) está relacionado con la extracción de minerales debido a insumos en el sistema. El factor de agotamiento abiótico (ADF) se determina para cada extracción de minerales (kg equivalentes de antimonio / kg de extracción) en función de las reservas de concentración y la tasa de desacumulación. El agotamiento abiótico de los combustibles fósiles está relacionado con el valor calorífico inferior (LHV) expresado en MJ por kg de m³ de combustible fósil. La razón para tomar el LHV es que los combustibles fósiles se consideran totalmente sustituibles.

Calentamiento global

El modelo de caracterización desarrollado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) se selecciona para el desarrollo de factores de caracterización. Los factores se expresan como potencial de calentamiento global para un horizonte de tiempo de 100 años (GWP100), en kg de dióxido de carbono equivalente / kg de emisión.

Agotamiento de la capa de ozono (estado estacionario)

El modelo de caracterización es desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y define el potencial de agotamiento del ozono de diferentes gases (kg CFC-11 equivalente / kg de emisión).

Toxicidad humana (HTP inf), Ecotoxicidad acuática de agua dulce (FAETP inf), Ecotoxicología marina acuática (MAETP inf) y Ecotoxicidad terrestre (TETP inf)

Los factores de caracterización, expresados como potenciales de toxicidad humana (HTP), se calculan con USES-LCA, describiendo el destino, la exposición y los efectos de las sustancias tóxicas para un horizonte temporal infinito. Para cada sustancia tóxica, los HTP se expresan como equivalentes de 1,4-diclorobenceno / kg de emisión.

Oxidación fotoquímica (alto NO_x)

El modelo fue desarrollado por Jenkin & Hayman y Derwent y define la oxidación fotoquímica expresada en kg equivalentes de etileno por kg de emisión.

Acidificación (incl. Destino, promedio total de Europa, A&B)

Potencial de acidificación expresado en kg de equivalentes de SO₂ por kg de emisión. El modelo es desarrollado por Huijbregts.

Eutrofización (destino no incluido)

Potencial de eutrofización desarrollado por Heijungs et al y expresado en kg de equivalentes de PO₄ por kg de emisión.

La Demanda Acumulativa de Energía (CED), se basa en el método publicado por ecoinvent versión 2.0 y ampliado por PRé Consultants para las materias primas disponibles en la base de datos Simapro 7. El método se basa en valores caloríficos más altos (HHV).

Frischknecht R., Jungbluth N., et.al. (2003). Implementación de métodos de evaluación del impacto del ciclo de vida. Informe final ecoinvent 2000, Swiss Centre for LCI. Duebendorf, CH, www.ecoinvent.ch

La madera no está incluida en esta metodología debido al uso frecuente de madera como materia prima en Simapro.

Normalización: no forma parte de este método.

Ponderación: a cada categoría de impacto se le asigna el factor de ponderación 1.

4.3.4. Resultados e Interpretación

A continuación se exponen los resultados de los diferentes procesos previos a la instalación de las mejoras tecnológicas. Con respecto a los procesos de chapa y montaje solo se incluirán una vez, puesto que las mejoras tecnológicas han sido enfocadas en el proceso de pintura.

CHAPA y MONTAJE

En el siguiente diagrama de Pareto, utilizando el método CED, se puede ver como la mayor fuente de abastecimiento energético es no renovable (combustibles fósiles) seguido de biomasa renovable

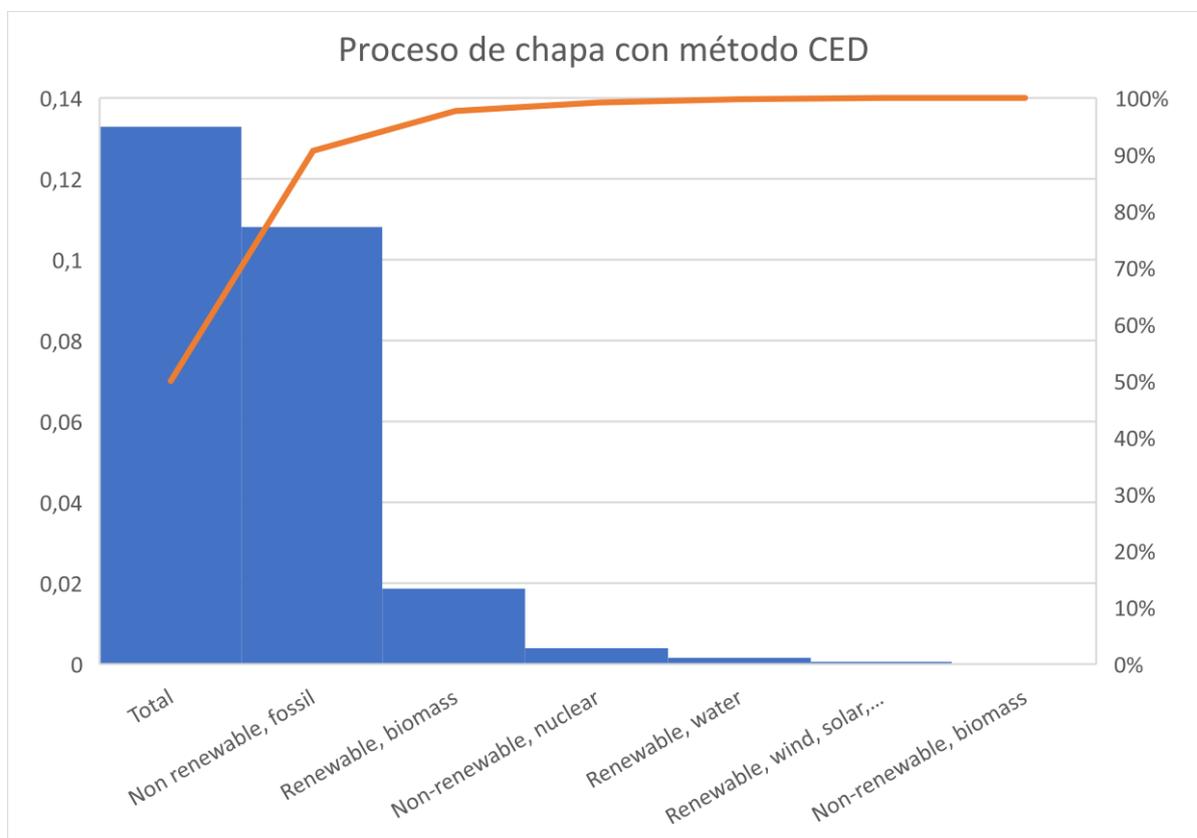


Figura 42. Consumo energético proceso de chapa [Fuente propia]

Algo similar ocurre en el proceso de montaje, donde la mayor aportación energética proviene de combustibles fósiles, seguido de nuclear y en tercer lugar energías renovables como la solar o el viento. Esto era de esperar puesto que el mix energético español cuenta con unos porcentajes similares a los que se pueden encontrar en estas gráficas.

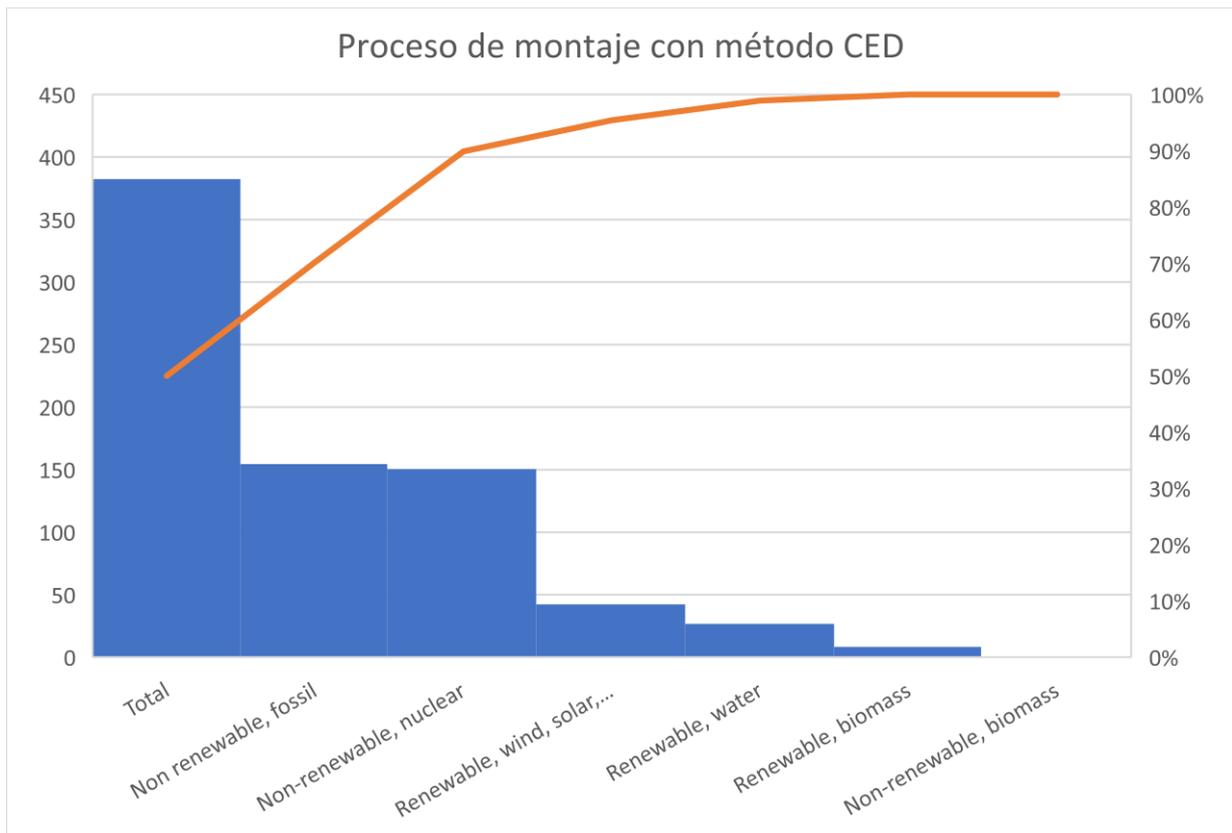


Figura 43. Consumo energético proceso de Montaje [Fuente propia]

Utilizando ahora el método CML-IA baseline, se puede apreciar en que indicadores ambientales tienen un mayor impacto estos procesos, siendo el peor parado la ecotoxicidad acuática marina, seguido de la ecotoxicidad de agua fresca y, en tercer lugar, la toxicidad humana. Hay que tener en cuenta que estos análisis se centran en el ciclo de vida completo y, la mayoría de los contaminantes, acaban siempre en alguna masa de agua al ser absorbidos y precipitados por las gotas de lluvia o arrastrados por el caudal de los ríos o de las aguas subterráneas, desde su origen de emisión hasta el mar, el océano o un lago. En las siguientes páginas podemos encontrar las dos gráficas con los resultados.

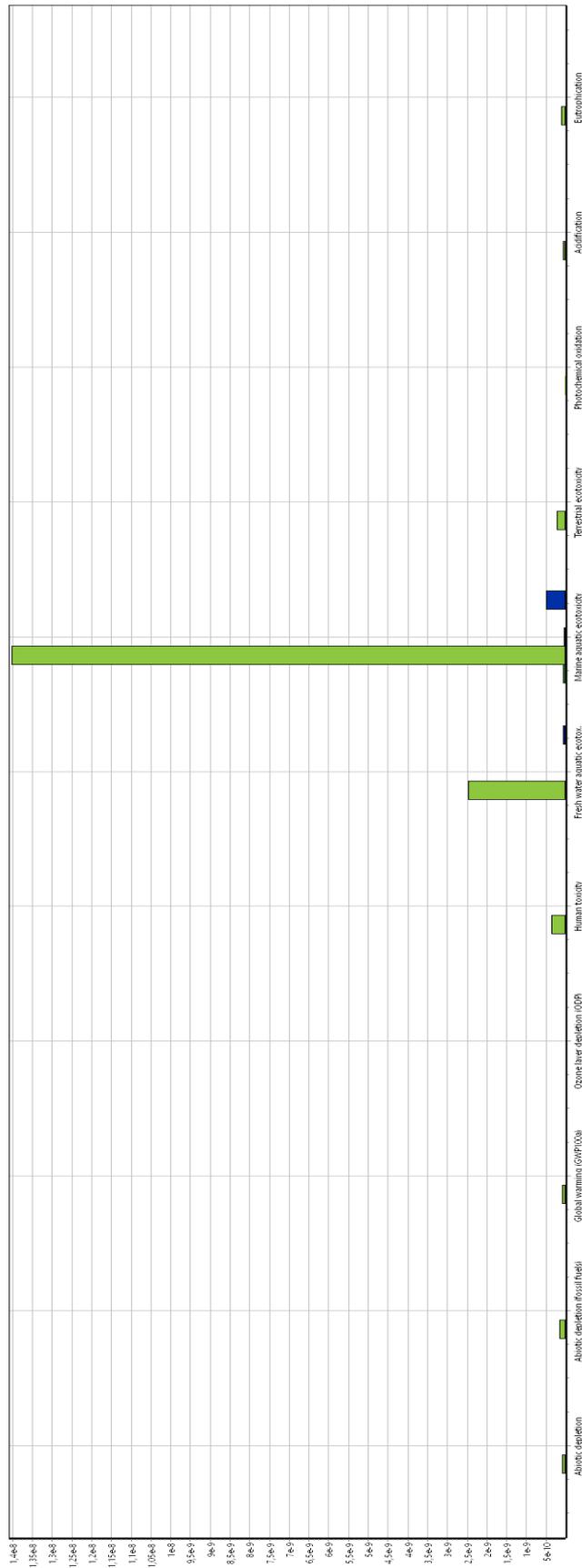


Figura 44. Resultados del proceso de chapa con el método CML-IA baseline [Informe SimaPro]

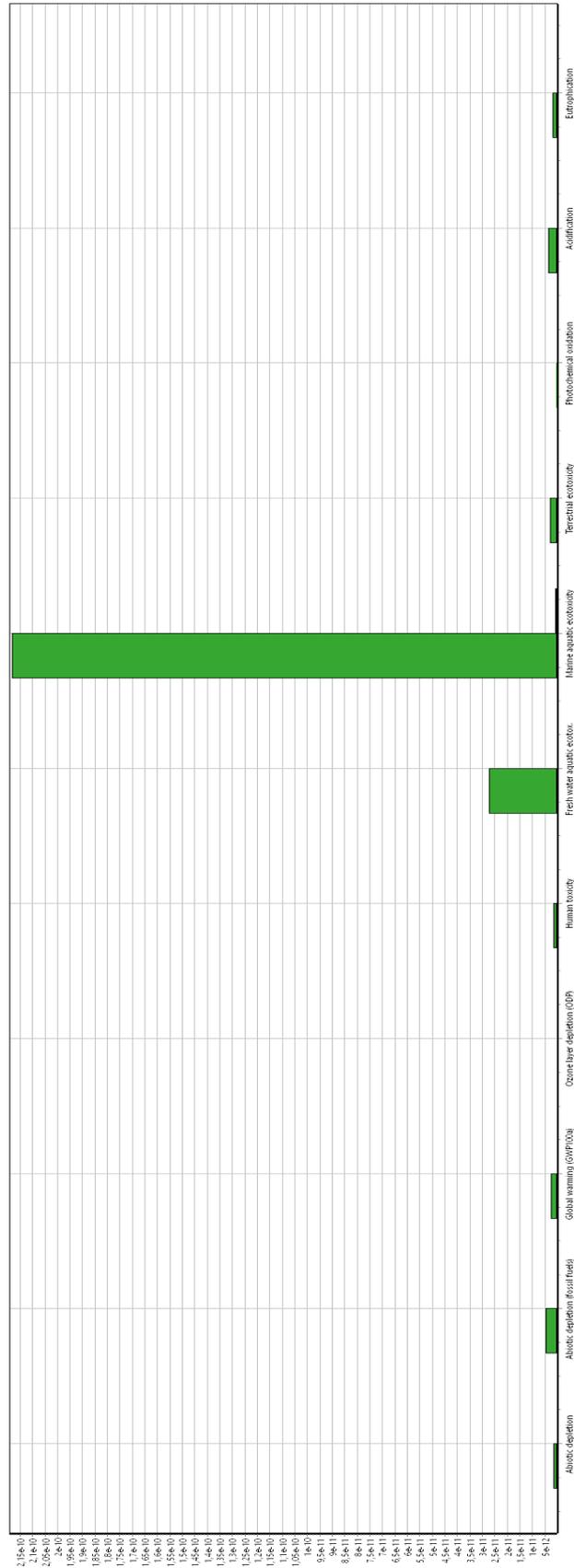


Figura 45. Resultados del proceso de montaje con el método CML-IA baseline [Informe SimaPro]

PINTURA

Primero serán analizados los datos previos a la instalación de las mejoras tecnológicas y posteriormente los datos una vez instalados. Una vez mostrados ambos resultados, se realizará una comparación entre ellos centrada exclusivamente en la emisión de gases de efecto invernadero.

A continuación el método CED

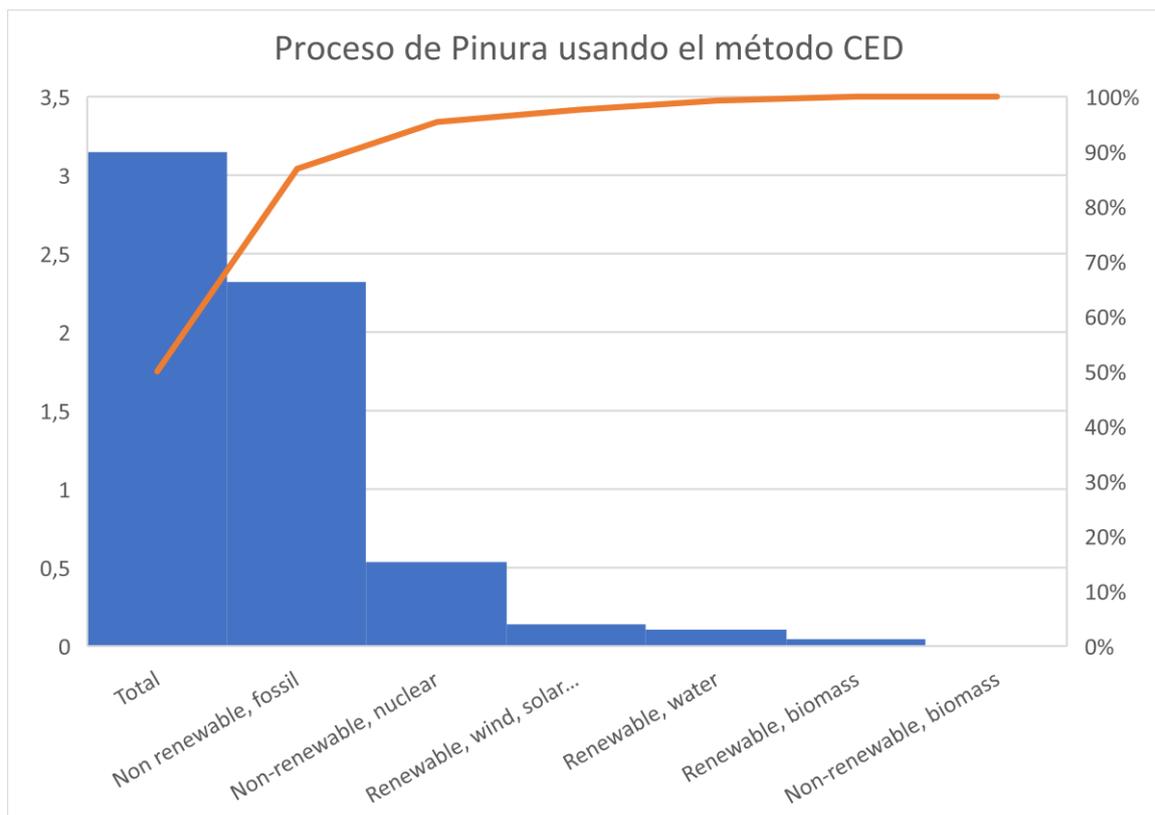


Figura 46. Consumo energético proceso de pintura [Fuente propia]

Al igual que ocurría con los procesos anteriores, la mayor aportación energética proviene de combustibles fósiles.

Si se analizan ahora los resultados utilizando el método CML-IA baseline, se puede apreciar que, al igual que en los casos anteriores, en la ecotoxicidad marina es donde se tiene un mayor impacto.

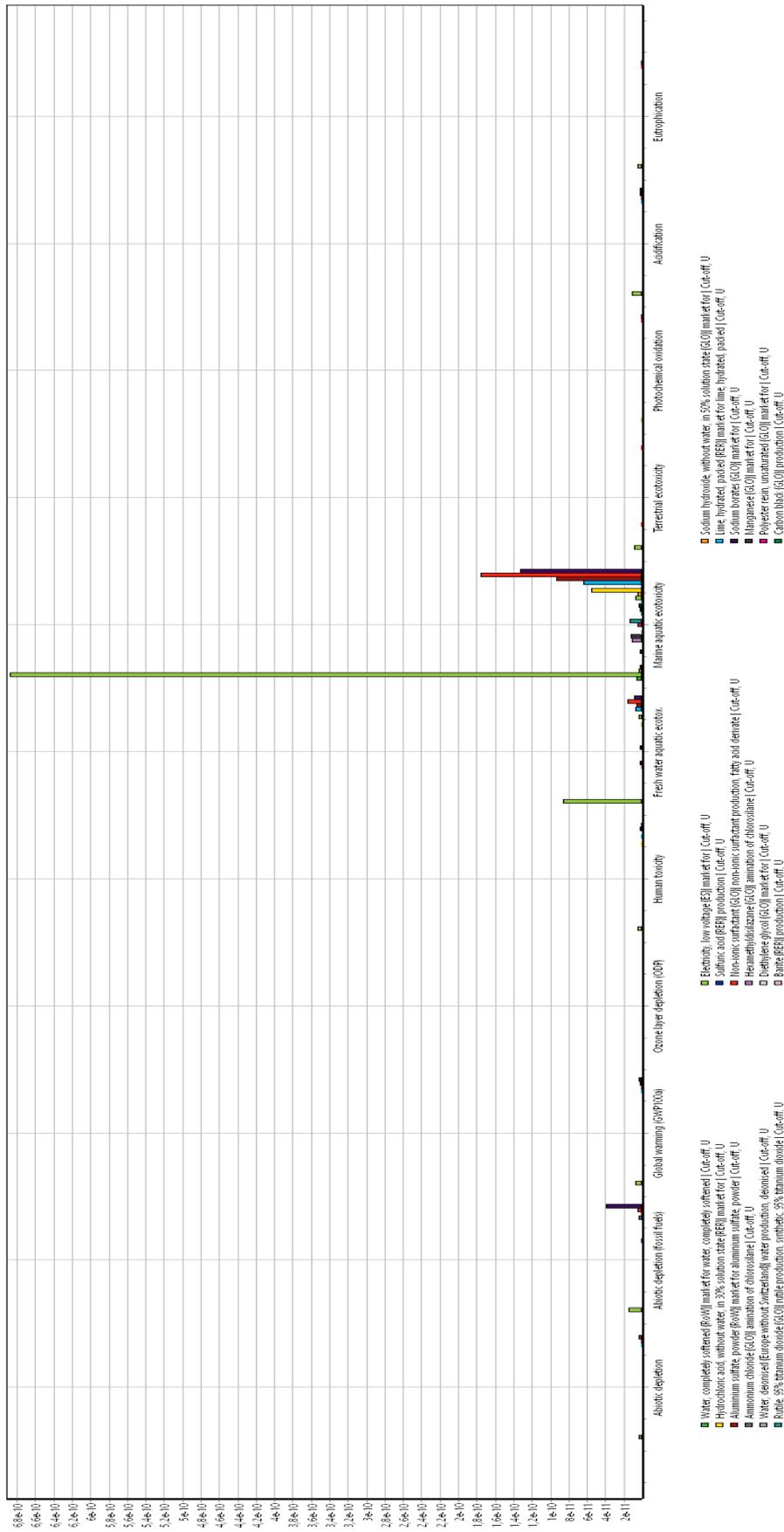


Figura 47. Resultados del proceso de pintura con el método CML-IA baseline [Informe SimaPro]

A continuación se muestran los resultados tras las mejoras tecnológicas aquí dimensionadas. Primero con el método CED. Para su cálculo, hubo que calcular que porcentaje de gas natural se evitaba consumir con el uso de la suma de los paneles solares y el uso de las bombas de calor. Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se puede ver que este sumatorio implica una reducción del 45% del total, es decir, se pasa de consumir 24kg de gas natural por vehículo, a consumir tan solo 13kg. Esto, hay que sumarle la producción energética que aportan los paneles solares. Las bombas de calor utilizan calores residuales para funcionar, por lo que globalmente, el proceso consume menos energía, y los porcentajes de la energía aportada correspondiente a fuentes renovables, aumenta. A continuación se pueden ver los resultados finales.

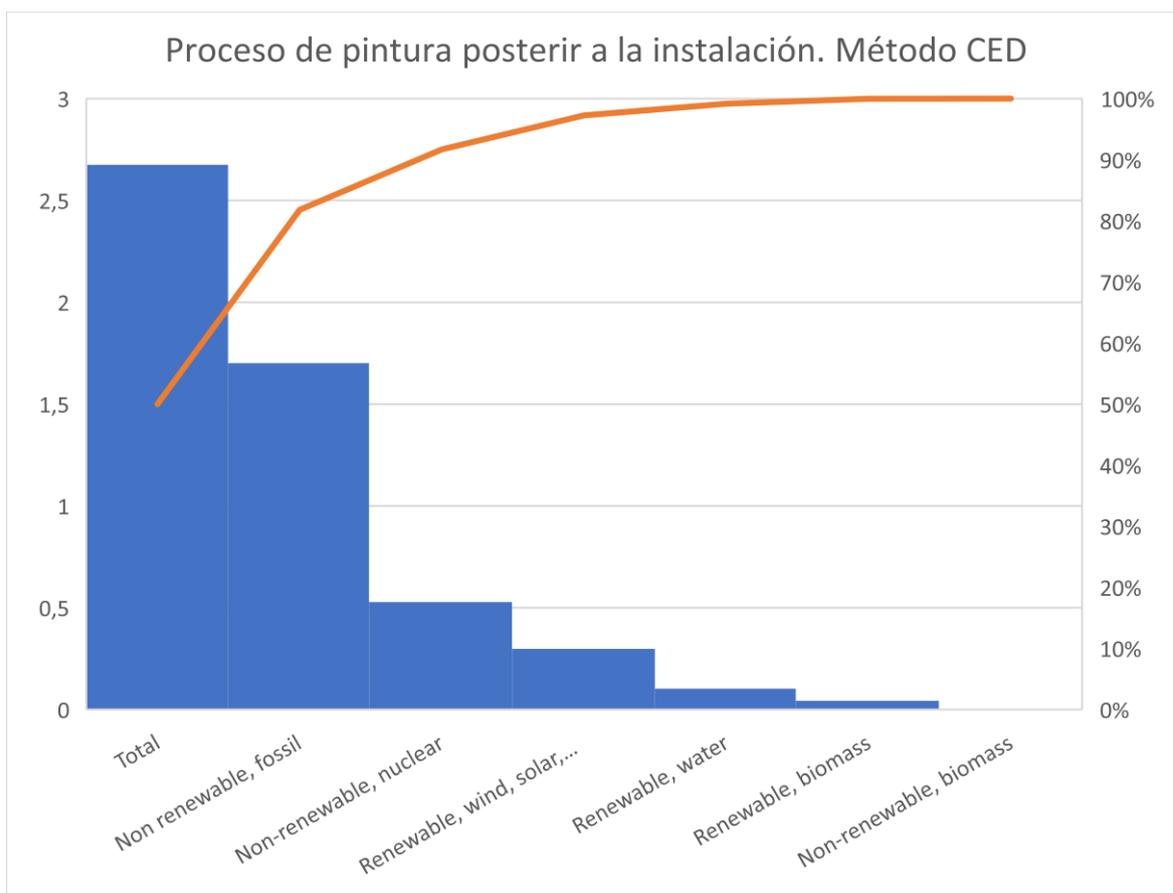


Figura 48. Consumo energético proceso de pintura con mejoras tecnológicas [Fuente propia]

Como era de esperar el consumo total ha bajado de 3.2 GJ anuales a tan solo 2.67 GJ. Además, el porcentaje de uso de solar ha aumentado de tan solo el 3% a un total de casi

el 12%. Mejoras significativas, aunque sigue encontrándose en tercer lugar en cuanto a portación energética global.

Utilizando el método CML-IA baseline, los resultados son prácticamente inapreciables, puesto que estudiando el impacto de ciclo de vida, unas mejoras de este tipo no suponen un cambio significativo en el global. El impacto global disminuirá en todas las secciones, pero la ecotoxicidad marina seguirá siendo la peor parada, seguida de la ecotoxicidad de agua fresca al igual que en los casos anteriores.

A continuación se incluye la gráfica correspondiente.

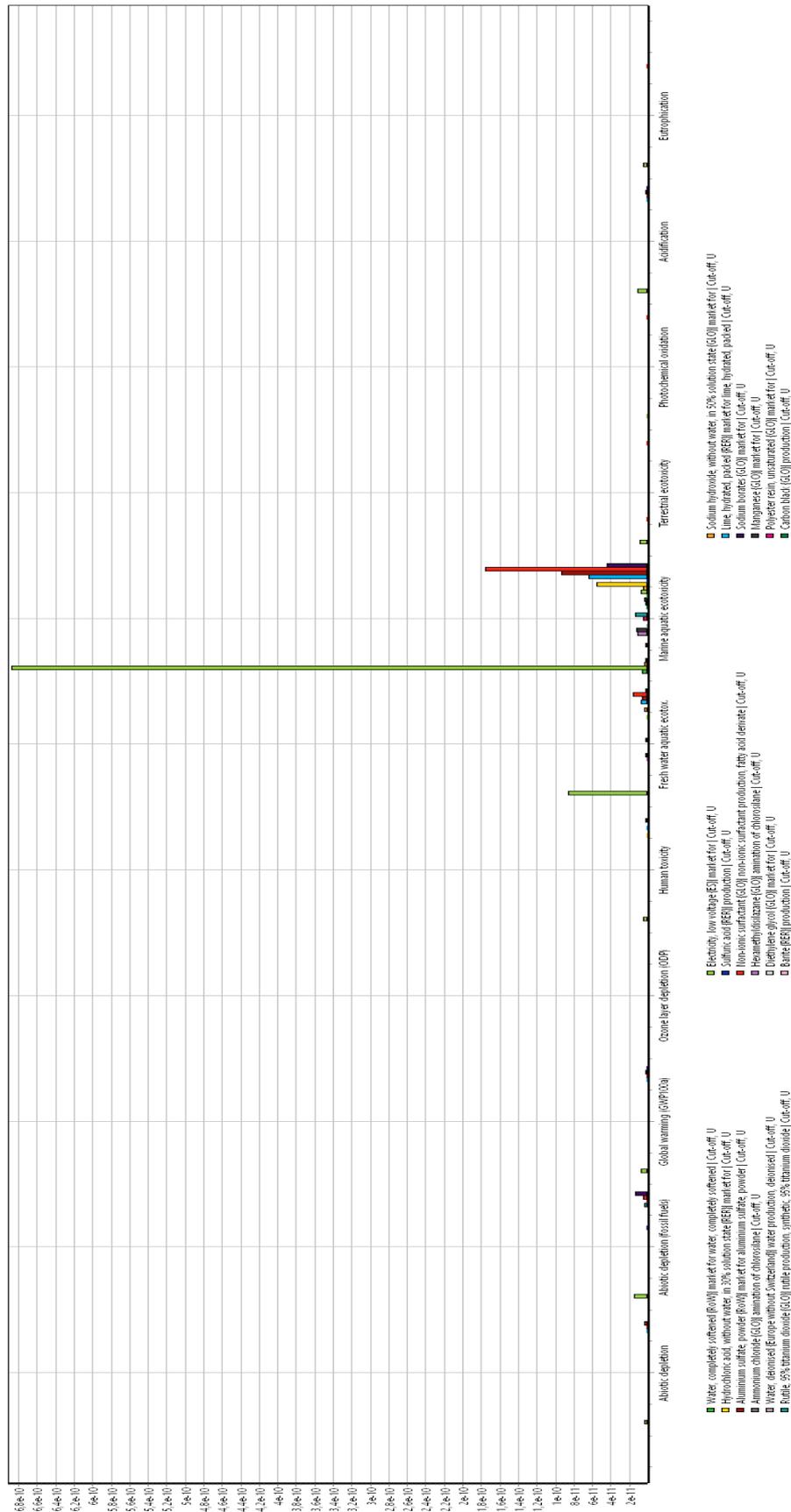


Figura 49. Resultados del proceso de pintura con el método CML-IA baseline y las mejoras instaladas [Informe SimaPro]

Por último, se va a ver la reducción en la emisión de gases de efecto invernadero. La instalación de los colectores solares SOLATOM [34], supone una reducción de las emisiones de CO₂ de 723.8 Ton/año. Y el uso de las bombas, evita que se emitan a la atmosfera 600.9 Ton/año de este mismo gas (esto sería la resta del CO₂ evitado al reducir el consumo de gas, menos el CO₂ generado al alimentar las bombas con electricidad)

Con todo ello, se reduce en un total de 1324,7 Ton/año las emisiones de CO₂ (y esto solo en la zona de los hornos de pintura, no se está teniendo en cuenta los colectores solares de tubo de vacío que se utilizarán para la climatización)

De acuerdo con la Generalitat de Catalunya Comisión Interdepartamental del Cambio Climático, el factor de emisión del gas natural es de 2,15 kg de CO₂/Nm³ [38] y según GASNAM [39], la densidad del mismo es de 0,743 kg/ Nm³, es decir, se producen 2,9 kg de CO₂, por cada kg consumido de Gas Natural. Por lo que si se consumen 24 kg de Gas Natural por cada coche producido, y en un año estándar se producen 82.000 coches, esta fábrica consume 1,968 millones de kg de Gas natural al año, lo que implica unas emisiones de 5.707,2 toneladas de CO₂ al año.

Por lo tanto.

$$\frac{1324.7}{5707.2} = \mathbf{23,21\%}$$

La implementación de estas medidas supone una reducción de las emisiones totales de un 23,21%. Una mejora significativa que acercará a esta empresa a los objetivos de sostenibilidad de la agenda 2030, que le permitirá seguir realizando su actividad a la vez que protegen el medio ambiente y que sin duda les dará una publicidad positiva con respecto a posibles clientes interesados en sus coches.

5. Conclusiones

A continuación se recogen algunas de las conclusiones que se han ido obteniendo a lo largo de la realización del proyecto. Algunas de estas deducciones ya han sido recogidas en apartados anteriores del proyecto y puede que se repitan en esta sección.

- La fabricación de un vehículo supone un porcentaje muy pequeño de su impacto medioambiental de ciclo de vida. Dentro del proceso de fabricación, a su vez, la parte de pintura, es otra pequeña parte, y dentro de esta parte de pintura, se ha conseguido reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 23%, lo cual, a nivel global de todo el ciclo de vida de un vehículo, supondrá una muy pequeña mejora.
- Existen la posibilidad de aumentar el tamaño de las mejoras en el futuro. La fábrica dispone de una parcela enorme donde podrían implantarse más paneles solares, además, se desperdician numerosos focos de calor que se podrían aprovechar para alimentar otras partes del proceso de fabricación de coches o para aclimatar diferentes zonas de la fábrica.
- La inversión inicial para conseguir esta mejora es importante. Las energías renovables como la solar, actualmente tienen un precio elevado que hace que algunos proyectos sean inviables, sin embargo, solo mediante la inversión en este sector y el desarrollo de proyectos como este, se conseguirá reducir los precios de las energías renovables y ampliar su viabilidad y su implementación.
- Con todo, esta fábrica obtendrá muy buenas conclusiones de este proyecto, tendrá que hacer una inversión inicial importante, pero como se ha visto, en menos de 10 años habrá recuperado la inversión y estará obteniendo beneficio. Además, mejorará su imagen de cara al público, lo que le aportará un nuevo abanico de clientes que motivados por el compromiso medioambiental de la empresa, no dudará en adquirir sus productos. Y por último, y más importante, su aportación ayudará a acercar a la sociedad a la tan ansiada transición energética, haciendo de este mundo un lugar mejor, más seguro y más limpio.
- Con respecto al análisis de ciclo de vida, es una potente herramienta que ayuda a clarificar los diferentes impactos que tiene un producto o un proceso a lo largo de su vida útil, sin embargo, a la hora de analizar un proceso, puede resultar una herramienta limitada, puesto que el alcance puede ser complicado de establecer,

o no lo suficientemente grande como para tener en cuenta todos los factores. Esta herramienta puede resultar más útil por lo tanto en productos en vez de en procesos, por la mayor facilidad de definir el alcance.

- Con respecto a las tecnologías solares cabe destacar su enorme potencial. Queda mucho que mejorar en este sector en cuanto a eficiencia y es verdad que es un tipo de energía que se ve neutralizada si las condiciones climáticas no son favorables, pero su potencial es enorme, y con la investigación adecuada, podrían lograrse números mucho más impresionantes y ahorros de electricidad mucho más atractivos.

6. Relación con los ODS

Los objetivos de desarrollo sostenible son un conjunto de objetivos globales, desarrollados por los líderes mundiales el 25 de septiembre de 2015 que buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible[40]. Cada objetivo tiene metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años. A continuación, se incluyen los 17 ODS.



Figura 50. Objetivos de Desarrollo Sostenible [41]

Como ya se ha señalado anteriormente, el fin último de este trabajo es la preservación del medioambiente a través de la optimización de los procesos en una fábrica automovilística, con el fin de reducir sus emisiones y desperdicios energéticos, y mitigar así el impacto que tiene esta actividad productiva a lo largo de su ciclo de vida. A continuación, se van a enumerar por lo tanto, los objetivos que ayuda a cumplir este proyecto y se van a exponer los motivos de que así sea.

De forma directa se cumplen los siguientes objetivos:

9. Industria, innovación e infraestructura.

Al aplicar las nuevas medidas que serán propuestas, inevitablemente se está produciendo una innovación en la infraestructura de esta empresa, además, es una innovación en busca no solo del ahorro económico, también de la reducción del impacto ambiental de dicha industria

12. Producción y consumo responsable

El fin del proyecto es ayudar a esta empresa a reducir sus consumos energéticos y reducir sus desperdicios mediante el análisis de ciclo de vida de sus procesos, eso los llevará a tener un consumo más responsable y una producción más eficiente, con menos deshechos.

Al realizar este proyecto, se van a reducir considerablemente los impactos en diferentes ámbitos ambientales, que produce esta empresa en su actividad industrial. Por ello es necesario hablar de aquellos ODS que se cumplen de manera indirecta. Este proyecto protege los ecosistemas naturales al reducir las emisiones de sustancias nocivas y apuesta por ciudades sostenibles y respetuosas con el medioambiente, por lo que los siguientes objetivos también podrían ser tenidos en cuenta:

11. Ciudades y comunidades sostenibles

13. Acción por el clima

14. Vida submarina

15. Vida de ecosistemas terrestres.

7. Referencias

- [1] M. C. Larrouyet, «Desarrollo sustentable : origen, evolución y su implementación para el cuidado del planeta», Universidad Nacional de Quilmes, Quilmes, 2015. Accedido: feb. 05, 2021. [En línea]. Disponible en: https://ridaa.unq.edu.ar/bitstream/handle/20.500.11807/154/TFI_2015_larrouyet_003.pdf?sequence=1
- [2] C. Martín Sastre, «Diapositivas para el curso de LCA», Universidad Pontificia de Comillas (ICAI), Madrid, 2020.
- [3] «ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia». <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> (accedido jun. 22, 2021).
- [4] «Life Cycle Assessment», *Circular Ecology*. <https://circularecology.com/lca.html> (accedido jun. 10, 2021).
- [5] S. P. Sukhatme y J. K. Nayak, *Solar Energy*. McGraw-Hill Education, 2017.
- [6] P. Moriarty y D. Honnery, «What energy levels can the Earth sustain?», *Energy Policy*, vol. 37, n.º 7, pp. 2469-2474, jul. 2009, doi: 10.1016/j.enpol.2009.03.006.
- [7] G. G. Jones y L. Bouamane, «“Power from Sunshine”: A Business History of Solar Energy», *Harv. Bus. Sch. Work. Pap. Ser.*, jul. 2012, Accedido: abr. 10, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://dash.harvard.edu/handle/1/9056763>
- [8] E. Kabir, P. Kumar, S. Kumar, A. A. Adelodun, y K.-H. Kim, «Solar energy: Potential and future prospects», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 894-900, feb. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.09.094.
- [9] J. P. Vargas Bautista, P. Yampasi Espejo, X. Tirado Villarroel, y A. Patzi, «IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN SOLAR TÉRMICO: ANÁLISIS ENERGÉTICO Y ECONÓMICO», *Investig. Amp Desarro.*, vol. 1, n.º 16, pp. 49-60, 2016.
- [10] A. W. Badar, R. Buchholz, Y. Lou, y F. Ziegler, «CFD based analysis of flow distribution in a coaxial vacuum tube solar collector with laminar flow conditions», *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 3, n.º 1, p. 24, sep. 2012, doi: 10.1186/2251-6832-3-24.
- [11] H. Yildizhan y M. Sivrioğlu, «Exergy analysis of a vacuum tube solar collector system having indirect working principle», 2017, doi: 10.2298/TSCI150905009Y.
- [12] H. Müller-Steinhagen y F. Trieb, «Concentrating solar power», [En línea]. Disponible en: <https://www.ingenia.org.uk/getattachment/Ingenia/Issue-18/Concentrating-solar-power-A-review-of-the-technolo/Muller%E2%80%93Steinhagen.pdf>
- [13] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. Degève, y G. Cacères, «Concentrated solar power plants: Review and design methodology», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 22, pp. 466-481, jun. 2013, doi: 10.1016/j.rser.2013.01.032.
- [14] W. Fuqiang, C. Ziming, T. Jianyu, Y. Yuan, S. Yong, y L. Linhua, «Progress in concentrated solar power technology with parabolic trough collector system: A comprehensive review», *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, pp. 1314-1328, nov. 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.174.

- [15] «El crecimiento de la energía solar en India liderado por la FV pone la mirada en los proyectos CSP | Reuters Events | Renewables». <https://www.reutersevents.com/renewables/csp-es/el-crecimiento-de-la-energia-solar-en-india-liderado-por-la-fv-pone-la-mirada-en-los> (accedido jun. 10, 2021).
- [16] R. M. JAVIER FRANCISCO y V. G. ELOY, *Bombas de calor y energías renovables en edificios*. Editorial Paraninfo, 2005.
- [17] «¿Que es y como funciona una Bomba de Calor?», *Tecnoverde*. <https://tecnoverde.cl/que-es-y-como-funciona-una-bomba-de-calor/> (accedido jun. 10, 2021).
- [18] M. H. Fuerte, «Coeficientes de rendimiento (COP) y eficiencia energética en el ciclo de refrigeración (EER) de la bomba de calor - caloryfrio.com». <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/definiciones-cop-y-eer.html> (accedido jun. 22, 2021).
- [19] M. Pierini, M. Delogu, y F. DelPero, «Life Cycle Assessment in the automotive sector: a comparative case study of Internal Combustion Engine (ICE) and electric car», *Elsevier B.V.*, p. 17.
- [20] G. W. Scheweiner y M. Levin, «Life Cycle Inventory for the Golf A4», Accedido: feb. 07, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.pdfFiller.com/jsfiller-desk12/?requestHash=9fe5427ddc6da972b720c987c12226f1f76dc7dd325962ff6ecc1290c2ae1c97&lang=es&projectId=638043726#ee39cc606e7f90b19a1f8fa824591c1d>
- [21] C. Y. Yuan, R. Simon, N. Mady, y D. Dornfeld, «Embedded temporal difference in Life Cycle Assessment: Case study on VW Golf A4 CAR», *IEEE*, 2009, doi: 10.1109/ISSST.2009.5156731.
- [22] R. N. Colville, E. J. Hutchinson, J. S. Mindell, y R. F. Warren, «The transport sector as a source of air pollution», *Atmos. Environ.*, vol. 35, n.º 9, pp. 1537-1565, 2001, doi: [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00551-3](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00551-3).
- [23] M. Messagie, F.-S. Boureima, T. Coosemans, C. Macharis, y J. V. Mierlo, «A Range-Based Vehicle Life Cycle Assessment Incorporating Variability in the Environmental Assessment of Different Vehicle Technologies and Fuels», *Energies*, vol. 7, n.º 3, Art. n.º 3, mar. 2014, doi: 10.3390/en7031467.
- [24] M. Simonsen y H. J. Walnum, «Energy Chain Analysis of Passenger Car Transport», *Energies*, vol. 4, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2011, doi: 10.3390/en4020324.
- [25] N. Mirjat, M. Uqaili, K. Harijan, G. Valasai, F. Shaikh, y M. Waris, «A review of energy and power planning and policies of Pakistan», *Rev. Energy Power Plan. Policies Pak.*, vol. 79, pp. 110-127, may 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.05.040.
- [26] W. R. Stahel, «The circular economy», *Nature*, vol. 531, n.º 7595, pp. 435-438, mar. 2016, doi: 10.1038/531435a.
- [27] «Introduce la economía circular en tu trabajo», *ecointeligencia - cambia a un estilo de vida sostenible!*, jun. 19, 2020. <https://www.ecointeligencia.com/2020/06/economia-circular-trabajo/> (accedido jun. 10, 2021).
- [28] Agencia Europea de Medio Ambiente, «Aspectos destacados por la AEMA sobre el medio ambiente europeo». nov. 15, 2008. Accedido: feb. 05, 2021. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.eea.europa.eu/downloads/a3bace77fb467439ed9fb44fcbf9d349/1583422375/intro.pdf>
- [29] D. Silva, A. Nunes, V. Moris, C. Piekarski, y T. Rodrigues, *How important is the LCA software tool you choose Comparative results from GaBi, openLCA, SimaPro and Umberto*. 2017.
- [30] «SimaPro | The world's leading LCA software», *SimaPro*. <https://simapro.com/> (accedido feb. 05, 2021).
- [31] B. Lacoste, A. Wolf, A. Witzig, y A. Maerklin, «Polysun. PV, wind and power-heat-cogeneration in one design tool», jul. 2010, Accedido: mar. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.osti.gov/etdweb/biblio/21341935>
- [32] M. Frassetto, J. Bannenberg, M. Silva, y Y. Nel, «RESSSPI: The Network of Simulated Solar Systems for Industrial Processes», en *Proceedings of EuroSun 2018*, Rapperswil, CH, 2018, pp. 1-9. doi: 10.18086/eurosun2018.08.04.
- [33] P. Yadav, N. Kumar, y S. S. Chandel, «Simulation and performance analysis of a 1kWp photovoltaic system using PVsyst», en *2015 International Conference on Computation of Power, Energy, Information and Communication (ICCPEIC)*, abr. 2015, pp. 0358-0363. doi: 10.1109/ICCPEIC.2015.7259481.
- [34] «SolatomCSP». <https://www.solatom.com/> (accedido may 02, 2021).
- [35] «Sistemas de aire acondicionado, calefacción, ventilación», *Carrier*. <https://www.carrier.com/commercial/es/es/> (accedido may 03, 2021).
- [36] «Ik ingeniería | Life Cycle Assessment - LCA». <https://www.ik-ingenieria.com/en/life-cycle-assessment-lca> (accedido jun. 10, 2021).
- [37] M. Jänicke, H. Mönch, T. Ranneberg, y U. E. Simonis, «Structural change and environmental impact: Empirical evidence on thirty-one countries in east and west», *Environ. Monit. Assess.*, vol. 12, n.º 2, pp. 99-114, may 1989, doi: 10.1007/BF00394181.
- [38] Generalitat de Catalunya, Comisión Interdepartamental, y del Cambio Climático, «GUÍA PRÁCTICA PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)». mar. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST234ZI97531&id=97531>
- [39] GASNAM y SEDIGAS, «Tabla Equivalencias gas natural». [En línea]. Disponible en: http://gasnam.es/wp-content/uploads/2016/02/Tabla_equivalencias_GASNAM_SEDIGAS.pdf
- [40] M. J. Gamez, «Objetivos y metas de desarrollo sostenible», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> (accedido feb. 05, 2021).
- [41] «La Asamblea General adopta la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible», *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/> (accedido jun. 10, 2021).

8. Apéndices

- 1) Bomba de calor 61XWH03 85-75 + 33-28°C
- 2) Bomba de calor 61XWH03 85-75 + 40-35°C
- 3) Bomba de calor 61XWH05 85-75 + 33-28°C
- 4) Bomba de calor 61XWH05 85-75 + 40-35°C
- 5) Catalogo Focos
- 6) Dimensionamiento de los Fresnel con depósito
- 7) Dimensionamiento de los Fresnel sin depósito
- 8) Dimensionamiento de los Fresnel con sábados y domingos
- 9) Simulación de las bombas de calor en EES
- 10) Plano de los focos
- 11) Dimensionamiento de los colectores de tubo de vacío en POLYSUN

Informe de rendimiento (a carga total)

Nombre del proyecto:

Preparado por: **Angel Cancela**

24/02/2021



Bomba de calor agua-agua **61XWHHZE03**

IOM

PSD

Brochure

Información sobre rendimiento

Potencia calorífica	376 kW
Eficacia de calefacción (C.O.P.)	2,96 kW/kW
<i>Eficacia de calefacción (Coeficiente COP bruto) no certificado *</i>	2,98 kW/kW
Capacidad frigorífica al origen	257 kW
Potencia absorbida por la unidad	127 kW

Información acerca del equipo

Lugar de fabricación	Montluel, France
Tipo de refrigerante	R1234ze(E)
Potencia mínima	50 %
Número de circuito refrigerante	1
Peso de funcionamiento/envío	2251/2132 kg
Dimensiones del equipo (la x an x al)	2724/981/1594 mm

Información del evaporador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	28,0 °C
Temperatura de entrada	33,0 °C
Caudal de fluido	12,4 l/s
Pérdida de carga total	18 kPa

Información eléctrica

Tensión de la unidad	400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Potencia en modo de espera	0,100 kW
Factor de potencia	0,89

Amps (Un 400V) **CKT A**

In (A): Intensidad máxima	241
Id (A): Corriente de arranque (max. Direct)	1210
Id/In	5,0

Información del condensador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	85,0 °C
Temperatura de entrada	75,0 °C
Caudal de fluido	9,2 l/s
Pérdida de carga total	15 kPa

Información acústica

Nivel de potencia sonora (LwA)	93 dB(A)
Nivel de presión sonora a 10 m (LpA)	76 dB(A)

Opciones instaladas y accesorios

*: sin caída de presión del intercambiador

Todos los rendimientos son conformes con la norma EN 14511-3:2018. Nivel de potencia sonora de conformidad con ISO 9614-1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com. Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

Informe de rendimiento (a carga total)

Nombre del proyecto:

Preparado por: **Angel Cancela**

24/02/2021



Bomba de calor agua-agua **61XWHHZE03**

IOM

PSD

Brochure

Información sobre rendimiento

Potencia calorífica	438 kW
Eficacia de calefacción (C.O.P.)	3,33 kW/kW
<i>Eficacia de calefacción (Coeficiente COP bruto) no certificado *</i>	3,36 kW/kW
Capacidad frigorífica al origen	316 kW
Potencia absorbida por la unidad	131 kW

Información acerca del equipo

Lugar de fabricación	Montluel, France
Tipo de refrigerante	R1234ze(E)
Potencia mínima	50 %
Número de circuito refrigerante	1
Peso de funcionamiento/envío	2251/2132 kg
Dimensiones del equipo (la x an x al)	2724/981/1594 mm

Información del evaporador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	35,0 °C
Temperatura de entrada	40,0 °C
Caudal de fluido	15,2 l/s
Pérdida de carga total	24 kPa

Información eléctrica

Tensión de la unidad	400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Potencia en modo de espera	0,100 kW
Factor de potencia	0,89

Amps (Un 400V) **CKT A**

In (A): Intensidad máxima	241
Id (A): Corriente de arranque (max. Direct)	1210
Id/In	5,0

Información del condensador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	85,0 °C
Temperatura de entrada	75,0 °C
Caudal de fluido	10,7 l/s
Pérdida de carga total	15 kPa

Información acústica

Nivel de potencia sonora (LwA)	93 dB(A)
Nivel de presión sonora a 10 m (LpA)	76 dB(A)

Opciones instaladas y accesorios

*: sin caída de presión del intercambiador

Todos los rendimientos son conformes con la norma EN 14511-3:2018. Nivel de potencia sonora de conformidad con ISO 9614-1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com. Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

Informe de rendimiento (a carga total)

Nombre del proyecto:

Preparado por: **Angel Cancela**

24/02/2021



Bomba de calor agua-agua **61XWHHZE05**

IOM

PSD

Brochure

Información sobre rendimiento

Potencia calorífica	612 kW
Eficacia de calefacción (C.O.P.)	3,03 kW/kW
<i>Eficacia de calefacción (Coeficiente COP bruto) no certificado *</i>	3,05 kW/kW
Capacidad frigorífica al origen	423 kW
Potencia absorbida por la unidad	202 kW

Información acerca del equipo

Lugar de fabricación	Montluel, France
Tipo de refrigerante	R1234ze(E)
Potencia mínima	50 %
Número de circuito refrigerante	1
Peso de funcionamiento/envío	3230/3012 kg
Dimensiones del equipo (la x an x al)	3059/1041/1745 mm

Información del evaporador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	28,0 °C
Temperatura de entrada	33,0 °C
Caudal de fluido	20,3 l/s
Pérdida de carga total	20 kPa

Información eléctrica

Tensión de la unidad	400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Potencia en modo de espera	0,100 kW
Factor de potencia	0,89

Amps (Un 400V) **CKT A**

In (A): Intensidad máxima	360
Id (A): Corriente de arranque (max. Direct)	1828
Id/In	5,1

Información del condensador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	85,0 °C
Temperatura de entrada	75,0 °C
Caudal de fluido	15,0 l/s
Pérdida de carga total	15 kPa

Información acústica

Nivel de potencia sonora (LwA)	97 dB(A)
Nivel de presión sonora a 10 m (LpA)	80 dB(A)

Opciones instaladas y accesorios

*: sin caída de presión del intercambiador

Todos los rendimientos son conformes con la norma EN 14511-3:2018. Nivel de potencia sonora de conformidad con ISO 9614-1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com. Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

Informe de rendimiento (a carga total)

Nombre del proyecto:

Preparado por: **Angel Cancela**

24/02/2021



Bomba de calor agua-agua **61XWHHZE05**



Información sobre rendimiento

Potencia calorífica	707 kW
Eficacia de calefacción (C.O.P.)	3,39 kW/kW
<i>Eficacia de calefacción (Coeficiente COP bruto) no certificado *</i>	3,42 kW/kW
Capacidad frigorífica al origen	514 kW
Potencia absorbida por la unidad	208 kW

Información del evaporador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	35,0 °C
Temperatura de entrada	40,0 °C
Caudal de fluido	24,8 l/s
Pérdida de carga total	27 kPa

Información del condensador

Tipo de fluido	Agua dulce
Factor de suciedad	0,000 (sqm-K)/kW
Número de pasos	2
Temperatura de salida	85,0 °C
Temperatura de entrada	75,0 °C
Caudal de fluido	17,3 l/s
Pérdida de carga total	15 kPa

Información acerca del equipo

Lugar de fabricación	Montluel, France
Tipo de refrigerante	R1234ze(E)
Potencia mínima	50 %
Número de circuito refrigerante	1
Peso de funcionamiento/envío	3230/3012 kg
Dimensiones del equipo (la x an x al)	3059/1041/1745 mm

Información eléctrica

Tensión de la unidad	400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz
Potencia en modo de espera	0,100 kW
Factor de potencia	0,89

Amps (Un 400V) **CKT A**

In (A): Intensidad máxima	360
Id (A): Corriente de arranque (max. Direct)	1828
Id/In	5,1

Información acústica

Nivel de potencia sonora (LwA)	97 dB(A)
Nivel de presión sonora a 10 m (LpA)	80 dB(A)

Opciones instaladas y accesorios

*: sin caída de presión del intercambiador

Todos los rendimientos son conformes con la norma EN 14511-3:2018. Nivel de potencia sonora de conformidad con ISO 9614-1.



CARRIER participates in the ECP program for Liquid Chilling Packages and Hydronic Heat Pumps. Check ongoing validity of certificate: www.eurovent-certification.com. Outside the scope of AHRI Water-Cooled Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Certification Program, but is rated in accordance with AHRI Standard 550/590 (I-P) and AHRI Standard 551/591 (SI).

Catálogo Focos de Proceso

ID FOCO		CAPCA		Potencia térmica (KW t)	Sistemático S/N	Sistema depuración	Ubicación	Aplicación	Nueva identif. Mant. Pint.	Observaciones
		GRUPO	CÖDIGO							
3P	Horno de masillas (entrada)	C	03 03 26 36	1.799	S	NO	MASILLAS	Secado carrocerías	EM.M-5	
5P	Horno de masillas (salida)	C	03 03 26 36	1.799	S	NO	MASILLAS		EM.M-6	Antigua "Y griega"
7P	Enfriador horno de masillas	C	03 03 26 36	1.799	S	NO	MASILLAS			Sin codificar por mantenimiento
9P	Cabina aplicac.B0 2º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0	Acondiciona- miento temperatura cabina	CA.M-8	
10P	Cabina aplicac.B0 3º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-9	
11P	Cabina aplicac.B0 4º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-10	
13P	Cabina aplicac.B0 2º Extractor dcho.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-2	
14P	Cabina aplicac.B0 3º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-3	
15P	Cabina aplicac.B0 4º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-4	
16P	Cabina aplicac.B0 5º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-5	
17P	Cabina aplicac.B0 6º Extractor dcho.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	B0		CA.M-6	
19P	Extractor Túnel Ventilado B0	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	NO	B0		EA.M-18	
29P	Cabina lacas (entrada)	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS		CL.M-38	Extractor DRYSYS
30P	Cabina de lacas 1º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-11		
31P	Cabina de lacas 2º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-12		
32P	Cabina de lacas 3º Extractor izdo.						LACAS	CL.M-13	Al equipo de oxidación térmica (foco 84P)	
33P	Cabina de lacas 4º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-14		
34P	Cabina de lacas 5º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-15		
35P	Cabina de lacas 6º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-16		
36P	Cabina de lacas 7º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-17		
37P	Cabina de lacas 8º Extractor izdo.	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-18		
38P	Cabina de lacas 9º Extractor izdo.						LACAS	CL.M-19	Al equipo de oxidación térmica (foco 84P)	
39P	Cabina de lacas 1º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-2		
40P	Cabina de lacas 2º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-3		
41P	Cabina de lacas 3º Extractor dcho						LACAS	CL.M-4	Al equipo de oxidación térmica (foco 84P)	
42P	Cabina de lacas 4º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-5		
43P	Cabina de lacas 5º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-6		
44P	Cabina de lacas 6º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-7		
45P	Cabina de lacas 7º Extractor dcho	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	Cajones de lavado	LACAS	CL.M-8		
46P	Cabina de lacas 8º Extractor dcho						LACAS	CL.M-9	Al equipo de oxidación térmica (foco 84P)	
48P	SAS salida cabina de lacas						LACAS	EL.M-24	Al equipo de oxidación térmica (foco 84P)	
49P	Horno secado lacas (enfriador)	C	03 03 26 36	3.840	S	NO	LACAS	Secado carrocerías	EL.M-40	
51P	Horno extracción (entrada)						LACAS		EL.M-28	Al equipo de oxidación térmica (foco 84P)
55P	Horno extracción (salida)	C	03 03 26 36	3.840	S	NO	LACAS		EL.M-37	
56P	Cuba cataforesis	B	04 03 08 08	-	S	NO	CATAFORESIS	Acondiciona- miento temperatura cuba	CC.M-82	
57P	Extracción horno de cataforesis	C	03 03 26 36	2.871	N	NO	CATAFORESIS	Secado carrocerías	EC.M-40	Extractor de enfriado rápido (sólo funciona cuando tiene que enfriar el horno en fin de semana o por avería cadena -func. discontinuo-). Sólo funciona el viernes noche (4 h/semana).
59P	Enfriador horno cataforesis	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	2.871	S	NO	CATAFORESIS		EC.M-50	

60P	Incinerador cataforesis II	C	03 03 26 36	1.100	S	INCINERACIÓN	CATAFORESIS	Incineración COV's	EC.M-12	Quemador Q-3	
62P	Incinerador cataforesis I	C	03 03 26 36	1.595	S	INCINERACIÓN	CATAFORESIS	Incineración COV's	EC.M-90	Quemador Q-1	
63P	Nuevos Boxes retoques	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	NO	RETOQUES	Acondic. temperatura boxes		Reutilización canalización foco 63P por eliminación línea Hospital (mar.13) e instalación nuevos boxes de retoques (4). Nueva denominación equipo.	
70P	Estufa retoques montaje (4) Cabina preparación pinturas y limpieza de pistolas z. retoques	-	06 01 01 04	-	N	NO	MONTAJE	Secado carrocerías	ERMLL4	Antiguo foco eliminado por mejora proceso retoques. Se ha aprovechado el foco existente para hacer la extracción de la cabina de preparación de pinturas y limpieza pistolas (func. < 1 h/día)	
71P	Extracción GA circulating (sala mezclas)	-	06 01 01 01	-	S	NO	CIRCULATING	Acondic. temperatura sala	SB.1		
72P	Cabina retoques montaje (I)	-	06 01 01 04	-	S	FILTROS DE PANELES	MONTAJE	Acondicionamiento temperatura cabina	CRM.L1	Sólo funciona cuando hay vehículos que retocar	
73P	Cabina retoques montaje (II)	-	06 01 01 04	-	S	FILTROS DE PANELES	MONTAJE	Acondicionamiento temperatura cabina	CRM.L2	Sólo funciona cuando hay vehículos que retocar	
74P	Extracción antiguos boxes 1	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	NO	RETOQUES	Acondic. temperatura boxes		Modificación identificación equipo por eliminación línea hospital en marzo 2013.	
75P	Extracción cortina entrada TTS	B	04 02 10 05	-	S	NO	TTS	Acondicionamiento temperatura		Sin codificar por mantenimiento	
81P	Grupo radiación horno cataforesis 1	C	03 03 26 36	2.871	S	NO	CATAFORESIS	Secado carrocerías	EC.M-100	1ª zona suelo radiante (recircula)	
82P	Grupo radiación horno cataforesis 2	C	03 03 26 36	2.871	S	NO	CATAFORESIS	Secado carrocerías	EC.M-400	2ª zona suelo radiante (recircula)	
83P	Extracción antiguos boxes 2	C	06 01 01 03 ⁽¹⁾	-	S	NO	RETOQUES	Acondic. temperatura boxes		Modificación identificación equipo por eliminación línea hospital en marzo 2013.	
84P	Oxidador térmico regenerativo	C	03 01 06 02	2.930	S	OXIDACIÓN TÉRMICA REGENERATIVA ⁽²⁾	LACAS	Incineración COV's		Oxidación de: 32P, 38P, 41P, 46P, 48P y 51P	
85P	Enfriador Cataforesis 1	C	03 03 26 36	2.871	N	NO	CATAFORESIS	Secado carrocerías		Sólo funcionan con T ambiente elevada (func. discontinuo < 5%). Sólo func. 1/3 tiempo periodo jun-jul	
86P	Enfriador Cataforesis 2	C	03 03 26 36	2.871	N	NO	CATAFORESIS	Secado carrocerías		Sólo funcionan con T ambiente elevada (func. discontinuo < 5%). Sólo func. 1/3 tiempo periodo jun-jul	
87P	Desengrase TTS	B	04 02 10 05	-	N	NO	TTS	Acondicionamiento temperatura		Antiguo equipo impulsor de aire. Sólo funciona en caso de avería del transportador aéreo del TTS (1 o 2 veces al año)	
88P	Lavado 1 TTS	B	04 02 10 05	-	N	NO	TTS	Acondicionamiento temperatura		Antiguo equipo impulsor de aire. Sólo funciona en caso de temperatura elevada (1-2 veces al año durante unas horas).	
61C	Lavadora (GEFCO)	C	03 01 03 03	1.750	S	NO	GEFCO	Secado bacs			
76C	Caldera ASC Baños TTS 1	C	03 01 03 03	755	S	NO	SALA CALDERAS TTS	Calentamiento baños TTS			
77C	Caldera ASC Baños TTS 2	C	03 01 03 03	755	S	NO					
78C	Caldera ASC Baños TTS 3	C	03 01 03 03	755	S	NO					
79C	Caldera ASC 1 (Central Térmica)	B	03 01 03 02	2.500	S	NO	CENTRAL TÉRMICA	Calefacción naves			
80C	Caldera ASC 2 (Central Térmica)	B	03 01 03 02	2.500	S	NO					
81C	Caldera ASC 3 (Central Térmica)	B	03 01 03 02	2.500	S	NO					
82C	Caldera ASC 4 (Central Térmica)	B	03 01 03 02	2.500	S	NO					

Nº	MODIFICACIÓN	FECHA	PILOTO
1	Creación documento	21/01/00	J.L. Vizcano
2	Eliminación antigua cabina de retoques	01/09/01	J.L. Vizcano
3	Instalación nueva cabina de retoques en Acabado (4 nuevos focos)	31/05/02	J.L. Vizcano
4	Nueva codificación del documento	10/10/02	J.L. Vizcano
5	Inclusión de tres focos no inventariados hasta la fecha (1 TTS y 2 en ceras)	31/03/04	J.L. Vizcano
6	Actualización catálogo focos (envío dossier AAI a la C.A.M.)	17/08/07	J.L. Vizcano
7	Rectificación catálogo focos definitivo (envío correo electrónico a la C.A.M.)	20/08/07	J.L. Vizcano
8	Catálogo focos pintura revisados por mantenimiento	01/04/08	J.L. Vizcano
9	Catálogo focos Resolución de 15/04/2008 AAI (expediente AAI-2023/05)	31/05/08	J.L. Vizcano
10	Actualización catálogo focos (revisión por mantenimiento -> tiempos funcionamiento focos discontinuos)	30/03/09	J.L. Vizcano
11	Actualización catálogo focos (revisión por mantenimiento -> tiempos funcionamiento focos discontinuos)	28/09/12	J.L. Vizcano
12	Eliminación línea Hospital en marzo 2013, siendo remplazada por 4 nuevos boxes de pintura.	27/03/13	J.L. Vizcano
13	Catálogo focos Resolución de 20/02/2014 Modificación de Oficio AAI (expediente ACIC-MO-AAI-2023/14)	31/03/14	J.L. Vizcano
14	Catálogo focos Resolución de 25/11/2014 Modificación no sustancial AAI (expediente ACIC-MF1-AAI-2023/14)	28/11/14	J.L. Vizcano
15	Modificación potencia quemadores focos 76C, 77C y 78C (la anterior correspondía a la caldera) tras verificación GEI 2014	06/03/15	J.L. Vizcano
16	Inclusión 5 columnas nuevas en el documento (Grupo CAPCA, Código CAPCA, Potencia Térmica, Sistemático y Sistema de depuración)	01/07/15	J.L. Vizcano
17	Eliminación focos 18P, 21P, 22P, 23P, 24P, 25P y 27P (horno aprestos) e instalación quemador (407 KW) en Horno masillas por implantación gama compacta pintura. Cambio denominación "Cabina aprestos" por "Cabina aplicación B0" (id. Id.)	17/08/15	J.L. Vizcano
18	Eliminación Focos 76P (extracción vestíbulo zona blanca) y 77P (extracción máq. plumas lacas) por implantación gama compacta pintura (eliminación zona blanca y máq. plumas)	20/10/16	J.L. Vizcano
19	Eliminación Foco 61P (campana extractora horno cataforesis) por mejoras realizadas en el proceso de cataforesis.	20/10/16	J.L. Vizcano
20	Eliminación foco 80P (Túnel de tratamiento de superficies) por mejoras en proceso TTS (no es necesario el proceso secado carrocerías).	20/10/16	J.L. Vizcano
21	Nuevos focos 87P (Desengrase TTS) y 88P (Lavado 1 TTS) por mejoras en el proceso del TTS (cambio funcionamiento equipos, pasando de "impulsores de aire" a extractores)	20/10/16	J.L. Vizcano
22	Cambio denominación foco 70P de "Estufa retoques montaje (I)" a "Cabina preparación pinturas y limpieza de pistolas z. retoques"	31/08/18	J.L. Vizcano
23	Cambio foco 88P de sistemático a no sistemático por mejoras en el proceso	31/08/18	J.L. Vizcano

I.PMA92.03 del 08/15

- (1) En el momento en el que el titular tuviera constancia, a partir de los datos de los planes de gestión de disolventes, de que la capacidad de consumo de disolventes de la línea asociada a dicho foco supera las 200 toneladas/año o los 150 Kg/h, deberá comunicarlo a la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio para la revisión del código asignado a estos focos.
- (2) En funcionamiento únicamente del 15 de junio al 15 de septiembre, siempre y cuando las emisiones de COV's asociadas a ese foco no superen los 5 Kg/veh. En caso contrario, el sistema de oxidación térmica regenerativa deberá estar en funcionamiento

Catálogo Focos de Calefacción

ID FOCO		CAPCA		Potencia Térmica (KW t)	Sistemático S/N	Sistema depuración	Ubicación	Aplicación	Observaciones
		GRUPO	CÓDIGO						
69C	Caldera nº1 EGO	-	03 01 03 03	1.750	S	NO	EGO	Agua caliente	
70C	Caldera nº2 EGO	-	03 01 03 03	1.750	S	NO	EGO	Agua caliente	
75C	Grupo de aporte T.I.I.	-	03 01 03 03	1.396	S	NO	Techo Cofre	Aire caliente	
19C	Generador Liescotherm (178)	-	03 01 03 03	349	S	NO	GEFCO	Aire caliente	
17C	Generador Liescotherm (177)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Parque	Aire caliente	
18C	Generador Liescotherm (175)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Parque	Aire caliente	
62C	Generador Liescotherm (147)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Acolchados	Aire caliente	Zona proveedor Plastic Omnium
28C	Generador Liescotherm (30)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
24C	Generador Liescotherm (36)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
83C	Caldera Feroli	-	03 01 03 03	351	S	NO	Clínica y Comed.	Agua caliente	
68C	Caldera Saunier Duval	-	03 01 03 03	39	S	NO	Clínica	Agua caliente	Agua caliente en Clínica (antes en Cocina)
41C	Secadora Zanussi n1	-	03 01 03 03	48	S	NO	CEE	Secado	
42C	Secadora Zanussi nº2	-	03 01 03 03	48	S	NO	CEE	Secado	
16C	Generador Liescotherm (143)	-	03 01 03 03	137	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
33C	Generador Liescotherm (152)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
15C	Generador Liescotherm (27)	-	03 01 03 03	640	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
85C	Caldera vestuario Chapa-Norte	-	03 01 03 03	200	S	NO	Chapa-Norte	Agua caliente	
86C	Calentador Junkers	-	03 01 03 03	48	S	NO	Cocina	Agua caliente	
87C	Tubo radiante GSR300 nº1	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
88C	Tubo radiante GSR300 nº2	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
89C	Tubo radiante GSR300 nº3	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
90C	Tubo radiante GSR300 nº4	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
91C	Tubo radiante GSR300 nº5	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
92C	Tubo radiante GSR300 nº6	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
93C	Tubo radiante GSR300 nº7	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
94C	Tubo radiante GSR300 nº8	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
95C	Tubo radiante GSR300 nº9	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
96C	Tubo radiante GSR300 nº10	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
97C	Tubo radiante GSR300 nº11	-	03 01 03 03	349	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
98C	Tubo radiante GSR200 nº1	-	03 01 03 03	233	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	

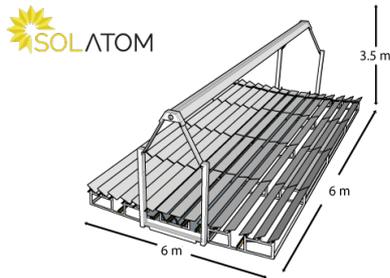
99C	Tubo radiante GSR200 n°2	-	03 01 03 03	233	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
100C	Tubo radiante GSR200 n°3	-	03 01 03 03	233	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
101C	Tubo radiante GSR100 n°1	-	03 01 03 03	116	S	NO	Mecánica (PR)	Aire caliente	
102C	Generador PKA060N n°1		03 01 03 03	86	S	NO	CEE	Aire caliente	
103C	Generador PKA060N n°2		03 01 03 03	86	S	NO	CEE	Aire caliente	
104C	Generador PKA060N n°3		03 01 03 03	86	S	NO	CEE	Aire caliente	
105C	Generador MM-090-H		03 01 03 03	90	S	NO	CEE	Aire caliente	
106C	Generador Tervotherm PKE-120H		03 01 03 03	137	S	NO	Acolchados	Aire caliente	Zona proveedor Maviva
107C	Generador Tervotherm PKE-060H n° 1		03 01 03 03	86	S	NO	Acolchados	Aire caliente	Zona proveedor Plastic Omnium
108C	Generador Tervotherm PKE-060H n° 2		03 01 03 03	86	S	NO	Acolchados	Aire caliente	Zona proveedor Plastic Omnium
Nº	MODIFICACIÓN							FECHA	PILOTO
1	Creación documento							21/01/00	J.L. Vizcano
2	Modificaciones climatización en P. Mecánica y Bout d'Usine							30/04/01	J.L. Vizcano
3	Instalación nuevo quemador en grupo aporte Cataforesis							31/08/01	J.L. Vizcano
4	Instalación nuevas cabinas retoques pintura en Acabado							31/05/02	J.L. Vizcano
5	Nueva codificación del documento							10/10/02	J.L. Vizcano
6	Actualización catálogo focos							31/03/04	J.L. Vizcano
7	Actualización catálogo focos (envío dossier AAI a la C.A.M.)							17/08/07	J.L. Vizcano
8	Catálogo focos Resolución de 15/04/2008 AAI (expediente AAI-2023/05)							31/05/08	J.L. Vizcano
9	Eliminación focos 1C, 2C, 3C y 4C e inclusión focos 79C, 80C, 81C y 82C por resolución de la C.A.M. de fecha 18/11/2009 de Modificación No Sustancial							14/12/09	J.L. Vizcano
10	Eliminación focos 46C y 47C en marzo 2013. Sustituidos por aerotermos eléctricos.							27/03/13	J.L. Vizcano
11	Revisión y actualización (ubicación y observaciones) focos 45C y 83C para actualización inventario focos de nuestra AAI.							21/01/14	J.L. Vizcano
12	Eliminación focos no canalizados (pantallas de infrarrojos, grupos de aporte de aire y tubos radiantes) para actualización inventario focos de nuestra AAI							21/01/14	J.L. Vizcano
13	Inclusión 5 columnas nuevas en el documento (Grupo CAPCA, Código CAPCA, Potencia Térmica, Sistemático y Sistema de depuración)							01/07/15	J.L. Vizcano
14	Eliminación focos por proyecto compactado actividad Centro (transfer V. Motor y Suspensiones de Mecánica a Carrocerías).							17/08/15	J.L. Vizcano
15	Eliminación focos 48C (horno secado fosfatado 1) y 49C (horno secado fosfatado 2) por mejoras en el proceso del TTS (no es necesario el proceso secado)							20/10/16	J.L. Vizcano
16	Nuevos focos 85C por instalación caldera calefacción en el vestuario Chapa-Norte y 86C (calentador agua cocina)							20/10/16	J.L. Vizcano
17	Revisión y actualización nuevos focos de combustión para calefacción en antigua nave Mecánica por ampliación actividad de PR (piezas de recambio): - eliminación focos 25C, 26C, 31C y 84C; - puesta en marcha de antiguos focos eliminados en 2015: 6C, 33C y 15C (correspondientes proyecto compactado actividad del Centro) - nuevos focos: 11 tubos radiantes de 300 Mcal/h (87C a 97C), 3 tubos radiantes de 200 Mcal/h (98C a 100C) y 1 tubo radiante de 100 Mcal/h (101C)							20/10/16	J.L. Vizcano
18	Nuevos focos en CEE y nave Acolchados: 102C a 108C							26/01/2018	J.L. Vizcano
19	Eliminación focos 52C y 53C de la nave de Post-Venta. Sustituidos por climatizadores con bomba de calor.							31/08/2018	J.L. Vizcano
20	Eliminación focos 63C, 64C, 65C y 66C por demolición nave fundición.							31/01/2019	J.L. Vizcano
21	Traslado foco 62 C de la nave de fundición al parque de proveedores (Plastic Omnium depósitos)							31/01/2019	J.L. Vizcano
22	Eliminación foco 40C de la entreplanta utillaje. Sustituido por climatizadores con bomba de calor							30/04/2018	J.L. Vizcano

Resumen de resultados

Ahorro solar año 1: 142705 €/año	% Ahorro combustible: 20.7%	
Factura actual: 553050.0 €/año	Coste combustible actual: 0.0 €/kWh	
Inversión: 1701069.3 €	TIR: 10.4 %	Retorno: Año 11
Campo solar: 6336 m ²	Producción energía: 3662474.4 kWh/año	CO2 evitado: 732.5 Ton/año

Instalación solar

La instalación solar está formada por un número determinado de colectores, agrupados en filas. En las filas los colectores se unen en serie. Las series se conectan en paralelo. El número de colectores por fila se ha diseñado para que en una fila se alcance el salto de temperatura de diseño (**10.0 °C**). El número de filas depende de la demanda de energía de la industria.



Colector simulado: SOLATOM [Ref:www.solatom.com]

Tipo de óptica: Fresnel lineal

Peso del captador: 900 kg/módulo (25kg/m²)

Número de colectores: 240 (Superficie total 9504.0 m²)

Disposición : (20x12) 20 filas con 12 colectores cada uno

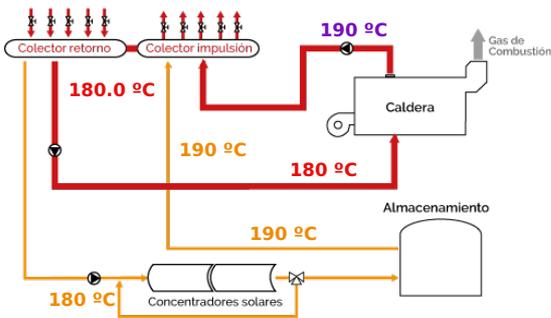
Tipo de ubicación: clean_ground

Cimentación: No necesario

Monitorización de datos: Incluido on-line los primeros 4 años

Mantenimiento requerido: Incluido los primeros 4 año(s). Es recomendable limpiar los espejos mensualmente.

Esquema de integración



Esquema de integración: "SL_L_PS"

[Ref: IEA SHC Task 49 - Integration Guideline - Feb 2015]

Descripción: La conexión del sistema solar se realiza en paralelo a la caldera. El sistema solar calienta el fluido a la misma temperatura que lo hace la caldera, por lo que la conexión se realiza directamente al colector de impulsión.

Almacenamiento: Almacenamiento térmico incluido

Volumen del almacenamiento: 50000 litros

Capacidad del almacenamiento: 541.8 kWh

Temperatura del almacenamiento: 190 °C

Valores de caudal por seride 12 colectores

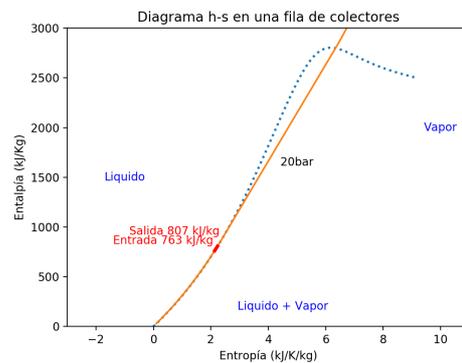
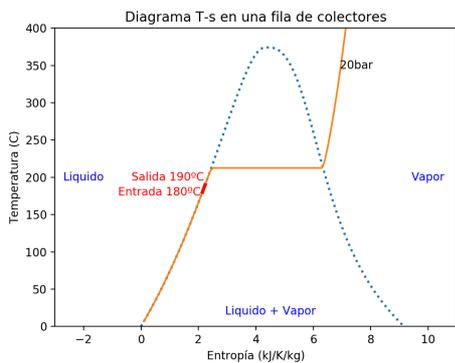
Promedio: 2.0 kg/s **Max:** 4.3 kg/s **Rango:** 4.0 kg/s **Std:** 0.9 kg/s

Valores de acudal principal

Promedio: 40.3 kg/s **Max:** 85.4 kg/s **Rango:** 79.1 kg/s **Std:** 18.4 kg/s

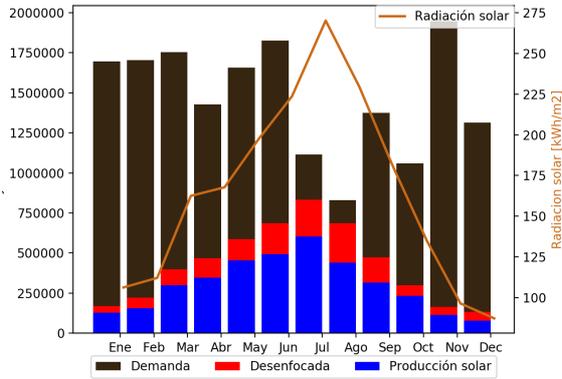
Propiedades del fluido en diseño: water

Descripción: Todo el circuito está en fase líquida, no existe evaporación. A la entrada del sistema solar entra fluido líquido a **180.0 °C**. El campo solar calienta el fluido hasta una temperatura de **190.0 °C**, correspondiente a la temperatura de salida de la caldera. Dado que la temperatura de salida del campo solar es la misma que la salida de caldera, el campo solar se puede conectar directamente a la red de distribución de la fábrica.



Producción solar durante un año

Producción & Demanda energía de proceso



Fichero meteorológico: "Madrid.dat" (Meteonorm v.7)
Energía solar en la ubicación: 1968.0 kWh/año

Producción solar anual bruta: 5125834.5 kWh
Producción solar anual suministrada: 3662474.4 kWh
Porcentaje global de utilización: 71.45128105170615 %

Demanda anual de energía de la industria: 17697600.0 kWh
% entre energía solar bruta y demanda total: 29.0%
% entre energía solar suministrada y demanda total: 20.7%
Producción anual por módulo: 21357.6 kWh

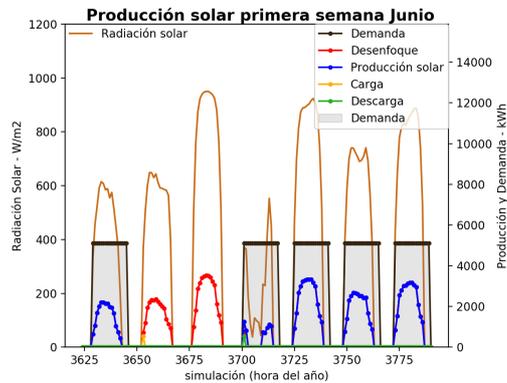
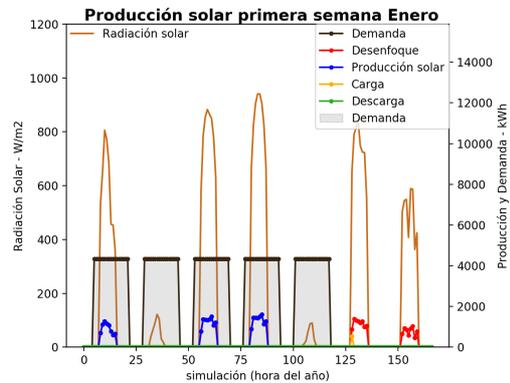
Producción solar en kWh por mes:

Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón
Ene	169813.4	7.5%	Feb	223020.7	9.1%	Mar	400108.4	17.1%
Abr	469385.3	24.4%	May	587124.1	27.5%	Jun	685692.4	27.1%
Jul	833387.0	54.2%	Ago	686684.9	53.0%	Sep	473674.1	23.1%
Oct	300314.6	21.9%	Nov	163997.9	5.9%	Dic	132631.6	5.9%

Detalle de la producción solar en invierno y verano

Las gráficas mostradas a continuación representan el comportamiento de la instalación solar durante la primera semana de Enero (que corresponde al rango de horas 0 y 167 del año) y la primera de Junio (que corresponde al rango de horas 3620 y 3791 del año).

El esquema hidráulico dispone de almacenamiento. En este caso, cuando la **energía solar producida** es mayor que la **demanda de la industria**, esta energía sobrante es almacenada (**columnas naranjas**) para luego poder ser utilizada (**columnas verdes**). Las **columnas azules** representan la energía útil que finalmente se suministra a la industria. Cuando hay un exceso de energía y el depósito está lleno, el sistema solar se **desenfoca** automáticamente.



Detalle del almacenamiento en las semanas de invierno y verano

"Carga" - Energía solar que se almacena en el depósito en un año: 43687.8 kWh

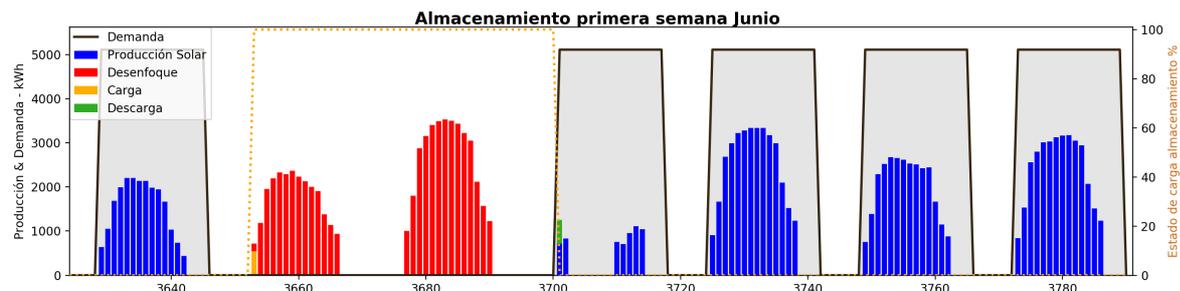
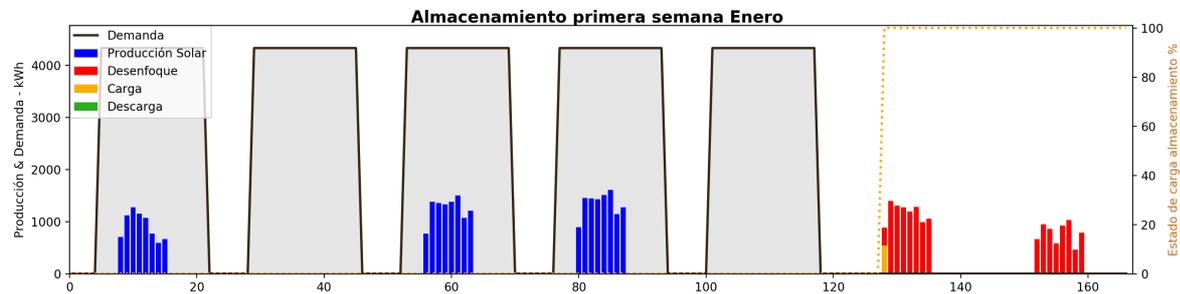
"Descarga" - Energía almacenada que se suministra a la industria en un año: 43687.8 kWh

"Desenfocamiento" - Energía solar que no puede almacenarse ni puede consumirse en un año: 1463360.1 kWh

Porcentaje global de utilización: 71.5 %

Porcentaje de desenfocamiento: 28.5 % (Porcentaje de energía desenfocada)

Incremento de energía por almacenamiento: 1.2 % (Incremento respecto a la opción sin almacenamiento)



Resultados económicos

Modelo de negocio: turnkey

Inversión total: 1701069.3 €

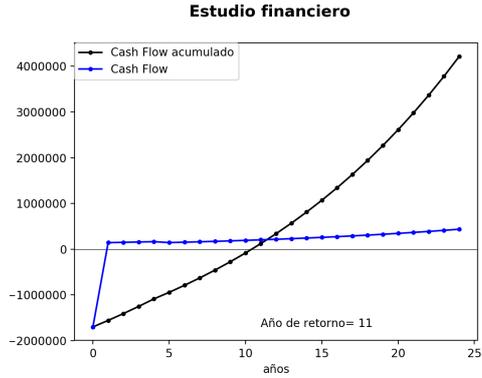
Retorno: Año 11

TIR: 10.4 %

TIR en 10 años: -3.3 %

Ahorro anual por coste de CO₂: 28252.327696131684 €

Año	Cash Flow acumulado	Ahorro solar + emisiones CO ₂ + Mantenimiento	Factura energética industria
Año 0	(1701069) €	0 €	553050.0 €
Año 1	(1558364) €	142705 €	553050.0 €
Año 2	(1408792) €	149572 €	586233.0 €
Año 3	(1251941) €	156851 €	621407.0 €
Año 4	(1087375) €	164567 €	658691.4 €
Año 5	(943429) €	143946 €	698212.9 €
Año 6	(790813) €	152615 €	740105.7 €
Año 7	(629008) €	161805 €	784512.0 €
Año 8	(457462) €	171546 €	831582.7 €
Año 9	(275590) €	181872 €	881477.7 €
Año 10	(82773) €	192817 €	934366.3 €
Año 11	121645 €	204419 €	990428.3 €
Año 12	338362 €	216717 €	1049854.0 €
Año 13	568115 €	229753 €	1112845.3 €
Año 14	811686 €	243571 €	1179616.0 €
Año 15	1069904 €	258218 €	1250392.9 €
Año 16	1343648 €	273744 €	1325416.5 €
Año 17	1633849 €	290201 €	1404941.5 €
Año 18	1941496 €	307646 €	1489238.0 €
Año 19	2267634 €	326138 €	1578592.3 €



Inversión inicial:

- Precio instalación por m²: 268.4768469302492 € [ref: www.solatom.com]

- La inversión incluye: colectores, instalación de conexión, control y adquisición de datos y el mantenimiento inicial de la planta.

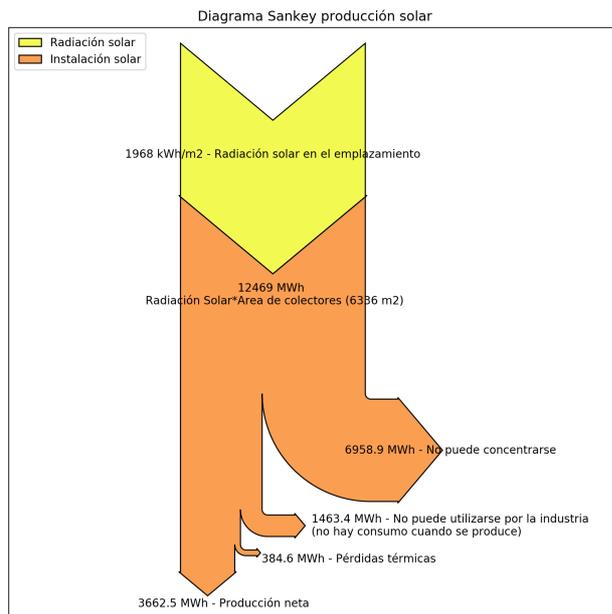
- La inversión **no** incluye: Transporte, refuerzos de cubierta (si fueran necesarios)

Hipótesis tenidas en cuenta durante el estudio económico:

- El ahorro mostrado tiene en cuenta un coste anual de mantenimiento y monitorización de 28800.0 €

- Precio por tonelada de CO₂: 38.6 € [Ref: Ind]. Rendimiento de caldera: 80% [Ref: Ind]. Incremento anual del precio de combustible fósil: 3.5 % [Ref: Forecast to 2022 IEA]. Incremento anual del IPC: 2.5 % [Ref: National Institute of Statistics].

Diagrama de la producción energética del sistema



Distribución de la producción de energía ANUAL en el sistema:

1) Radiación solar: 1968.0 kWh/m²

La radiación solar es la energía disponible en la ubicación seleccionada que llega desde el sol.

2) Energía sobre superficie: 12469.3 MWh

Radiación solar que puede ser reflejada por los espejos

-> 2.1) Energía no concentrada: 6958.9 MWh/año

Radiación que geoméricamente no puede concentrarse en elreceptor y por tanto se pierde

-> 2.2) Energía no utilizada: 1463.4 MWh

Radiación solar que llega al receptor pero no puede ser utilizada por la industria (ya que no existe almacenamiento o la industria no necesita energía cuando hay producción solar)

-> 2.3) Energía perdida al ambiente: 384.6 MWh

Pérdidas térmicas del sistema al ambiente

3) Energía transmitida a la industria: 3662.5 MWh

Energía solar que finalmente se suministra a la industria

Datos de la industria - 2021-05-02

Nombre: Marcos

Empresa: PSA

Sector:

Datos financieros

Combustible actual: NG

Precio: 0.0 €/kWh

Modelo de negocio: turnkey

Sistema solar

Localización: Madrid

Superficie disponible: 17000 m

Tipo de terreno: clean_ground

Orientación: NS

Inclinación: flat

Sombras: free

Distancia a la red: n/d

Proceso térmico -

Temp. salida de caldera: 190.0

Temp. entrada a caldera: 180.0 °C

Fluido: water

Presión: 20 bar

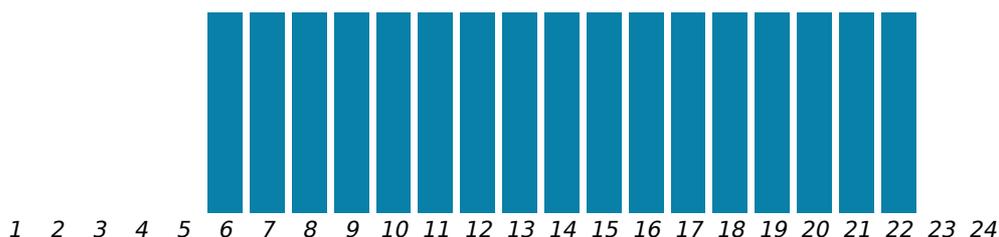
Tipo de integración: SL_L_PS

Consumo energético

Consumo anual de energía: 17697600.0 kWh

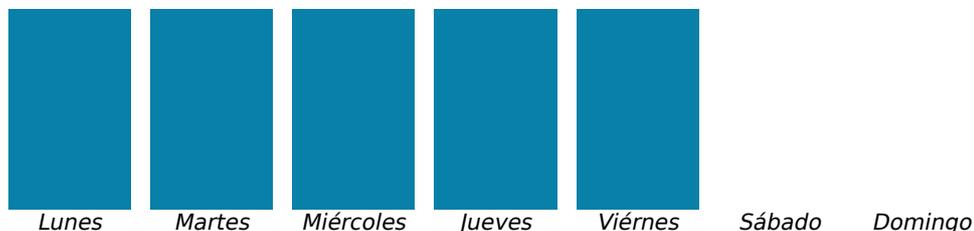
Perfil de consumo diario: -

Demanda



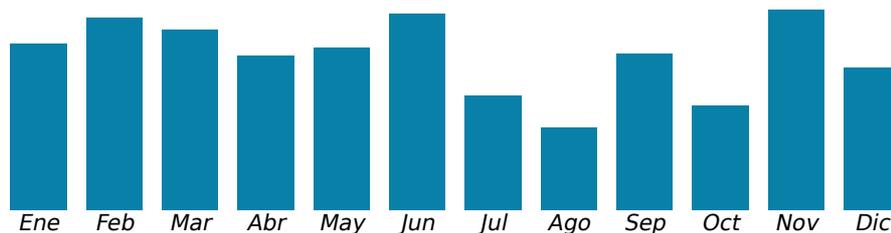
Perfil de consumo semanal:

Demanda



Perfil de consumo anual:

Demanda

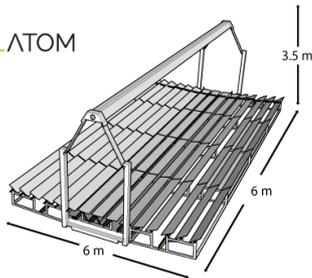


Resumen de resultados

Ahorro solar año 1: 141002 €/año	% Ahorro combustible: 20.4%	
Factura actual: 553050.0 €/año	Coste combustible actual: 0.0 €/kWh	
Inversión: 1684805.8 €	TIR: 10.4 %	Retorno: Año 11
Campo solar: 6336 m ²	Producción energía: 3618786.6 kWh/año	CO2 evitado: 723.8 Ton/año

Instalación solar

La instalación solar está formada por un número determinado de colectores, agrupados en filas. En las filas los colectores se unen en serie. Las series se conectan en paralelo. El número de colectores por fila se ha diseñado para que en una fila se alcance el salto de temperatura de diseño (10.0 °C). El número de filas depende de la demanda de energía de la industria.



Colector simulado: SOLATOM [Ref:www.solatom.com]

Tipo de óptica: Fresnel lineal

Peso del captador: 900 kg/módulo (25kg/m²)

Número de colectores: 240 (Superficie total 9504.0 m²)

Disposición : (20x12) 20 filas con 12 colectores cada uno

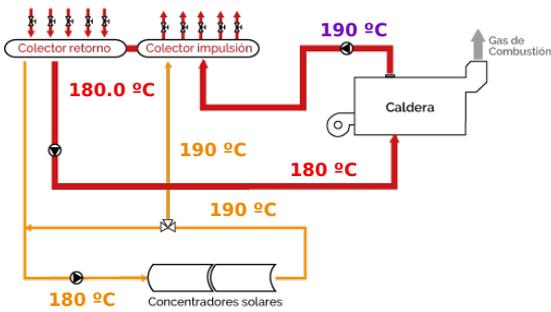
Tipo de ubicación: clean_ground

Cimentación: No necesario

Monitorización de datos: Incluido on-line los primeros 4 años

Mantenimiento requerido: Incluido los primeros 4 año(s). Es recomendable limpiar los espejos mensualmente.

Esquema de integración



Esquema de integración: "SL_L_P"

[Ref: IEA SHC Task 49 - Integration Guideline - Feb 2015]

Descripción: La conexión del sistema solar se realiza en paralelo a la caldera. El sistema solar calienta el fluido a la misma temperatura que lo hace la caldera, por lo que la conexión se realiza directamente al colector de impulsión.

Almacenamiento: No

Volumen del almacenamiento: 0 litros

Capacidad del almacenamiento: 0 kWh

Temperatura del almacenamiento: 0 °C

Valores de caudal por serie de 12 colectores

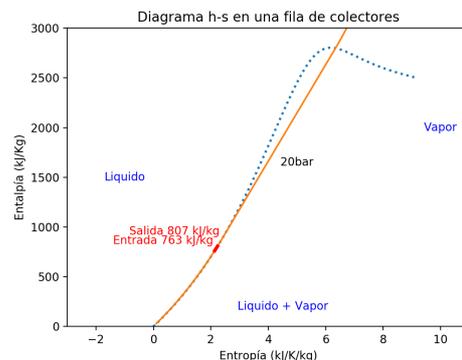
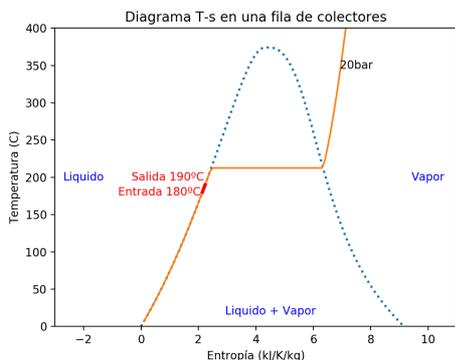
Promedio: 2.0 kg/s **Max:** 4.3 kg/s **Rango:** 4.0 kg/s **Std:** 0.9 kg/s

Valores de acudal principal

Promedio: 40.3 kg/s **Max:** 85.4 kg/s **Rango:** 79.1 kg/s **Std:** 18.4 kg/s

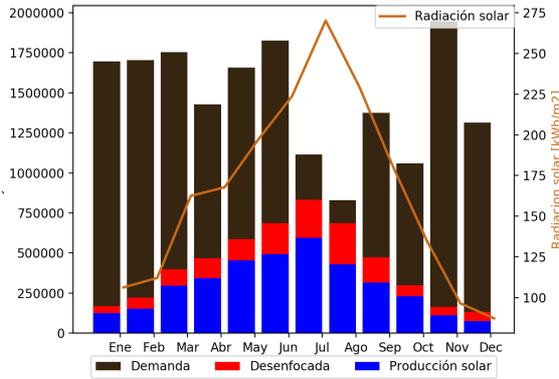
Propiedades del fluido en diseño: water

Descripción: Todo el circuito está en fase líquida, no existe evaporación. A la entrada del sistema solar entra fluido líquido a 180 °C . El campo solar calienta el fluido hasta una temperatura de 190 °C , correspondiente a la temperatura de salida de la caldera. Dado que la temperatura de salida del campo solar es la misma que la salida de caldera, el campo solar se puede conectar directamente a la red de distribución de la fábrica.



Producción solar durante un año

Producción & Demanda energía de proceso



Fichero meteorológico: "Madrid.dat" (Meteonorm v.7)
Energía solar en la ubicación: 1968.0 kWh/año

Producción solar anual bruta: 5125834.5 kWh
Producción solar anual suministrada: 3618786.6 kWh
Porcentaje global de utilización: 70.59897506862977 %

Demanda anual de energía de la industria: 17697600.0 kWh
% entre energía solar bruta y demanda total: 29.0%
% entre energía solar suministrada y demanda total: 20.4%
Producción anual por módulo: 21357.6 kWh

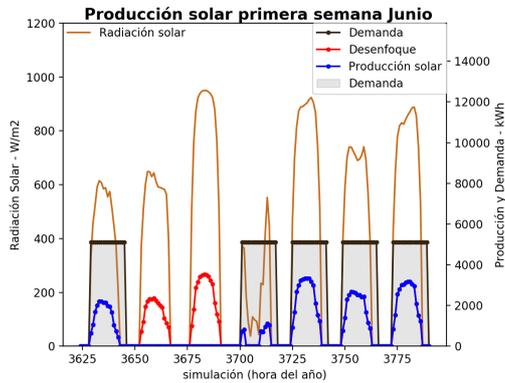
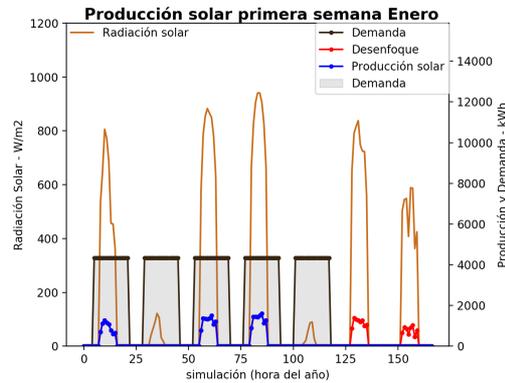
Producción solar en kWh por mes:

Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón
Ene	169813.4	7.4%	Feb	223020.7	9.0%	Mar	400108.4	16.9%
Abr	469385.3	24.2%	May	587124.1	27.4%	Jun	685692.4	26.9%
Jul	833387.0	53.4%	Ago	686684.9	51.6%	Sep	473674.1	22.9%
Oct	300314.6	21.7%	Nov	163997.9	5.7%	Dic	132631.6	5.7%

Detalle de la producción solar en invierno y verano

Las gráficas mostradas a continuación representan el comportamiento de la instalación solar durante la primera semana de Enero (que corresponde al rango de horas 0 y 167 del año) y la primera de Junio (que corresponde al rango de horas 3620 y 3791 del año).

El esquema hidráulico seleccionado no dispone de almacenamiento. En este caso, si la **energía solar producida** es mayor que la **demanda de la industria**, esa energía sobrante no puede ser utilizada. Las **columnas azules** representan la energía útil que finalmente se suministra a la industria. Cuando hay un exceso de energía, el sistema solar se **desenfoca** automáticamente.



Detalle del almacenamiento en las semanas de invierno y verano

"Carga" - Energía solar que se almacena en el depósito en un año: 0 kWh

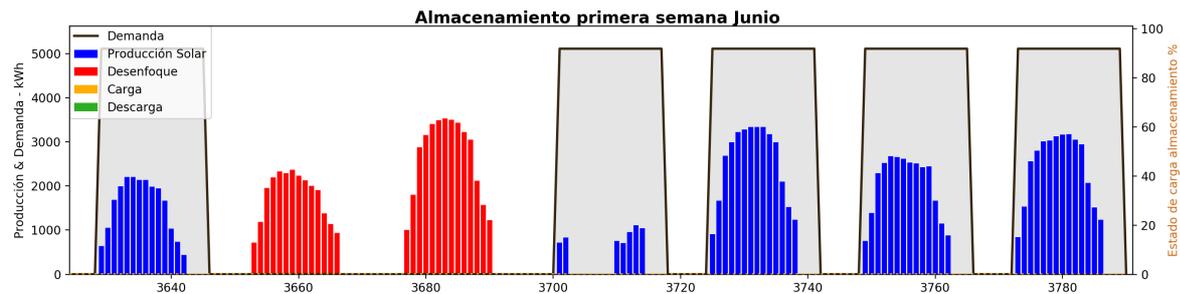
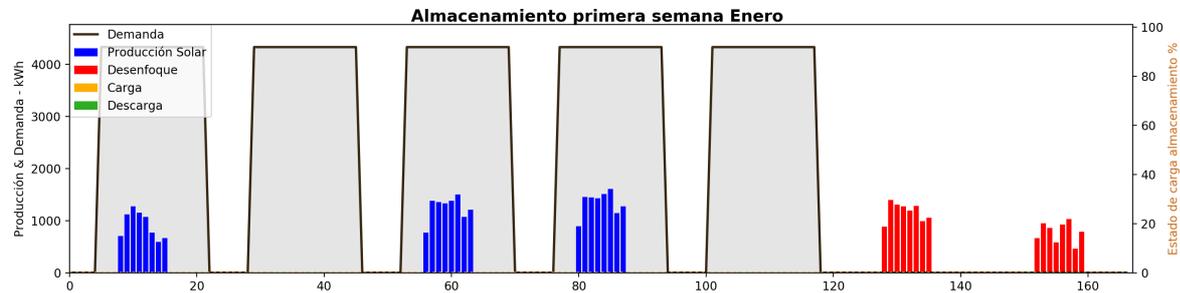
"Descarga" - Energía almacenada que se suministra a la industria en un año: 0 kWh

"Desenfocado" - Energía solar que no puede almacenarse ni puede consumirse en un año: 1507047.9 kWh

Porcentaje global de utilización: 70.6 %

Porcentaje de desenfocado: 29.4 % (Porcentaje de energía desenfocada)

Incremento de energía por almacenamiento: 0 % (Incremento respecto a la opción sin almacenamiento)



Resultados económicos

Modelo de negocio: turnkey

Inversión total: 1684805.8 €

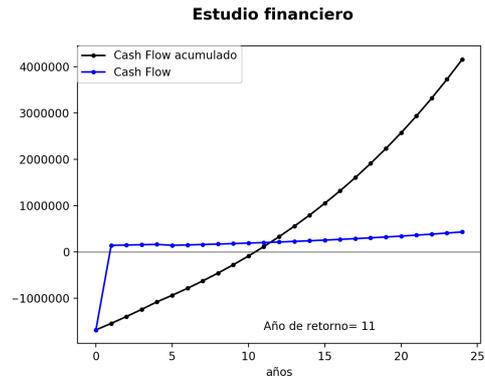
Retorno: Año 11

TIR: 10.4 %

TIR en 10 años: -3.4 %

Ahorro anual por coste de CO₂: 27915.320051526654 €

Año	Cash Flow acumulado	Ahorro solar + emisiones CO ₂ + Mantenimiento	Factura energética industria
Año 0	(1684805) €	0 €	553050.0 €
Año 1	(1543803) €	141002 €	553050.0 €
Año 2	(1396015) €	147788 €	586233.0 €
Año 3	(1241035) €	154980 €	621407.0 €
Año 4	(1078432) €	162604 €	658691.4 €
Año 5	(936546) €	141885 €	698212.9 €
Año 6	(786095) €	150451 €	740105.7 €
Año 7	(626563) €	159532 €	784512.0 €
Año 8	(457407) €	169156 €	831582.7 €
Año 9	(278048) €	179359 €	881477.7 €
Año 10	(87875) €	190174 €	934366.3 €
Año 11	113762 €	201637 €	990428.3 €
Año 12	327550 €	213788 €	1049854.0 €
Año 13	554219 €	226669 €	1112845.3 €
Año 14	794541 €	240322 €	1179616.0 €
Año 15	1049335 €	254794 €	1250392.9 €
Año 16	1319470 €	270135 €	1325416.5 €
Año 17	1605866 €	286396 €	1404941.5 €
Año 18	1909499 €	303633 €	1489238.0 €
Año 19	2231404 €	321904 €	1578592.3 €



Inversión inicial:

- Precio instalación por m²: 265.9100136020784 € [ref: www.solatom.com]

- La inversión incluye: colectores, instalación de conexión, control y adquisición de datos y el mantenimiento inicial de la planta.

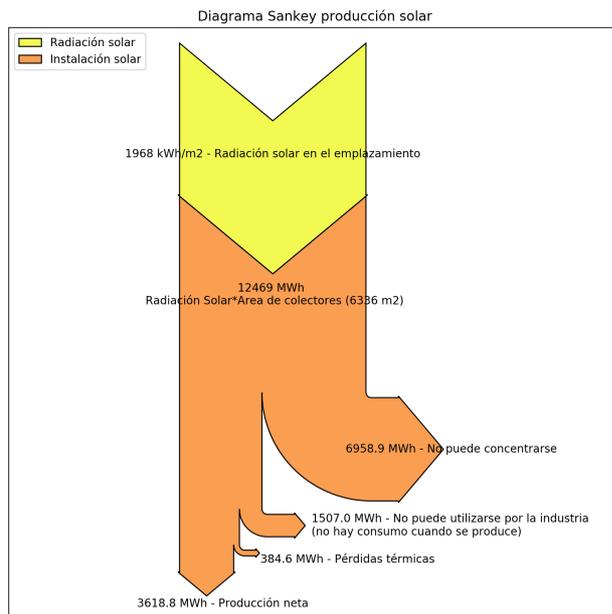
- La inversión **no** incluye: Transporte, refuerzos de cubierta (si fueran necesarios)

Hipótesis tenidas en cuenta durante el estudio económico:

- El ahorro mostrado tiene en cuenta un coste anual de mantenimiento y monitorización de 28800.0 €

- Precio por tonelada de CO₂: 38.6 € [Ref: Ind]. Rendimiento de caldera: 80% [Ref: Ind]. Incremento anual del precio de combustible fósil: 3.5 % [Ref: Forecast to 2022 IEA]. Incremento anual del IPC: 2.5 % [Ref: National Institute of Statistics].

Diagrama de la producción energética del sistema



Distribución de la producción de energía ANUAL en el sistema:

1) Radiación solar: 1968.0 kWh/m²

La radiación solar es la energía disponible en la ubicación seleccionada que llega desde el sol.

2) Energía sobre superficie: 12469.3 MWh

Radiación solar que puede ser reflejada por los espejos

-> 2.1) Energía no concentrada: 6958.9 MWh/año

Radiación que geoméricamente no puede concentrarse en elreceptor y por tanto se pierde

-> 2.2) Energía no utilizada: 1507.0 MWh

Radiación solar que llega al receptor pero no puede ser utilizada por la industria (ya que no existe almacenamiento o la industria no necesita energía cuando hay producción solar)

-> 2.3) Energía perdida al ambiente: 384.6 MWh

Pérdidas térmicas del sistema al ambiente

3) Energía transmitida a la industria: 3618.8 MWh

Energía solar que finalmente se suministra a la industria

Datos de la industria - 2021-05-02

Nombre: dfh

Empresa: gdh

Sector:

Datos financieros

Combustible actual: NG

Precio: 0.0 €/kWh

Modelo de negocio: turnkey

Sistema solar

Localización: Madrid

Superficie disponible: 17000 m

Tipo de terreno: clean_ground

Orientación: NS

Inclinación: flat

Sombras: free

Distancia a la red: 17000 m

Proceso térmico -

Temp. salida de caldera: 190.0

Temp. entrada a caldera: 180.0 °C

Fluido: water

Presión: 20 bar

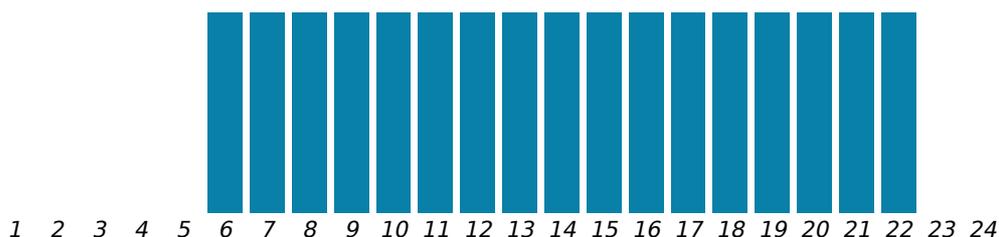
Tipo de integración: SL_L_P

Consumo energético

Consumo anual de energía: 17697600.0 kWh

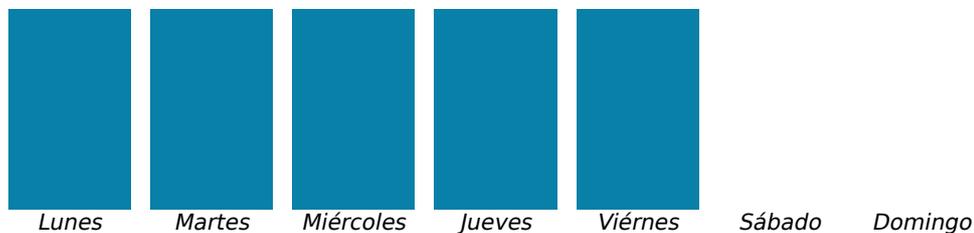
Perfil de consumo diario: -

Demanda



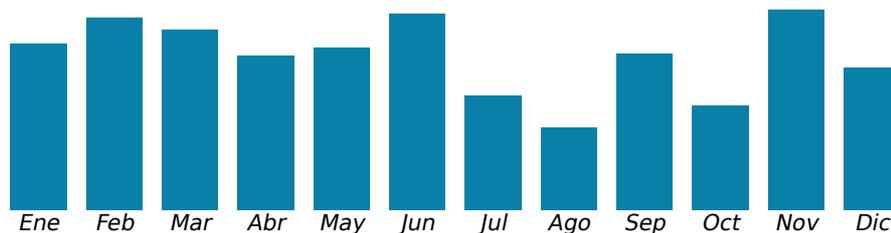
Perfil de consumo semanal:

Demanda



Perfil de consumo anual:

Demanda

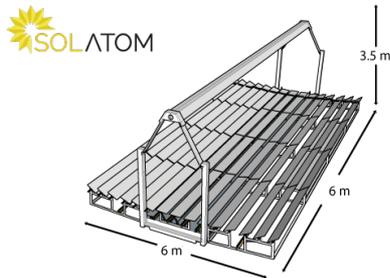


Resumen de resultados

Ahorro solar año 1: 185019 €/año	% Ahorro combustible: 26.8%	
Factura actual: 553050.0 €/año	Coste combustible actual: 0.0 €/kWh	
Inversión: 1701069.3 €	TIR: 13.8 %	Retorno: Año 9
Campo solar: 6336 m ²	Producción energía: 4748462.1 kWh/año	CO2 evitado: 949.7 Ton/año

Instalación solar

La instalación solar está formada por un número determinado de colectores, agrupados en filas. En las filas los colectores se unen en serie. Las series se conectan en paralelo. El número de colectores por fila se ha diseñado para que en una fila se alcance el salto de temperatura de diseño (10.0 °C). El número de filas depende de la demanda de energía de la industria.



Colector simulado: SOLATOM [Ref:www.solatom.com]

Tipo de óptica: Fresnel lineal

Peso del captador: 900 kg/módulo (25kg/m²)

Número de colectores: 240 (Superficie total 9504.0 m²)

Disposición : (20x12) 20 filas con 12 colectores cada uno

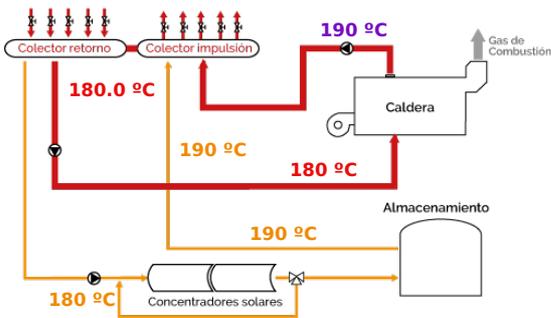
Tipo de ubicación: clean_ground

Cimentación: No necesario

Monitorización de datos: Incluido on-line los primeros 4 años

Mantenimiento requerido: Incluido los primeros 4 año(s). Es recomendable limpiar los espejos mensualmente.

Esquema de integración



Esquema de integración: "SL_L_PS"

[Ref: IEA SHC Task 49 - Integration Guideline - Feb 2015]

Descripción: La conexión del sistema solar se realiza en paralelo a la caldera. El sistema solar calienta el fluido a la misma temperatura que lo hace la caldera, por lo que la conexión se realiza directamente al colector de impulsión.

Almacenamiento: Almacenamiento térmico incluido

Volumen del almacenamiento: 50000 litros

Capacidad del almacenamiento: 541.8 kWh

Temperatura del almacenamiento: 190 °C

Valores de caudal por seride 12 colectores

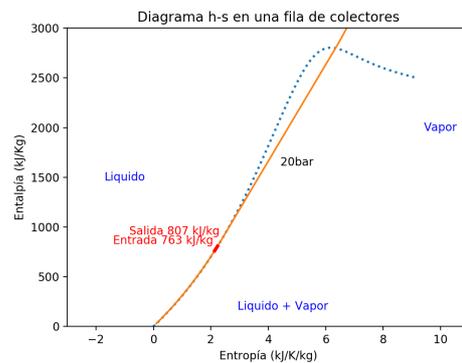
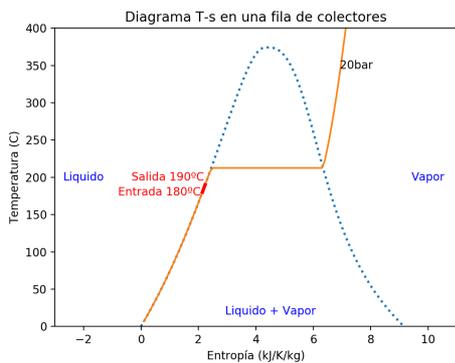
Promedio: 2.0 kg/s **Max:** 4.3 kg/s **Rango:** 4.0 kg/s **Std:** 0.9 kg/s

Valores de acudal principal

Promedio: 40.3 kg/s **Max:** 85.4 kg/s **Rango:** 79.1 kg/s **Std:** 18.4 kg/s

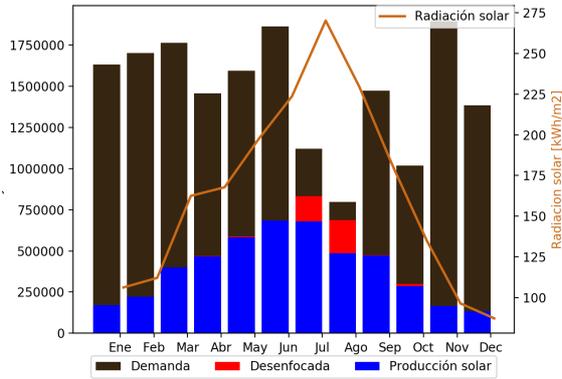
Propiedades del fluido en diseño: water

Descripción: Todo el circuito está en fase líquida, no existe evaporación. A la entrada del sistema solar entra fluido líquido a 180.0 °C . El campo solar calienta el fluido hasta una temperatura de 190.0 °C , correspondiente a la temperatura de salida de la caldera. Dado que la temperatura de salida del campo solar es la misma que la salida de caldera, el campo solar se puede conectar directamente a la red de distribución de la fábrica.



Producción solar durante un año

Producción & Demanda energía de proceso



Fichero meteorológico: "Madrid.dat" (Meteonorm v.7)
Energía solar en la ubicación: 1968.0 kWh/año

Producción solar anual bruta: 5125834.5 kWh
Producción solar anual suministrada: 4748462.1 kWh
Porcentaje global de utilización: 92.63783552967541 %

Demanda anual de energía de la industria: 17697600.0 kWh
% entre energía solar bruta y demanda total: 29.0%
% entre energía solar suministrada y demanda total: 26.8%
Producción anual por módulo: 21357.6 kWh

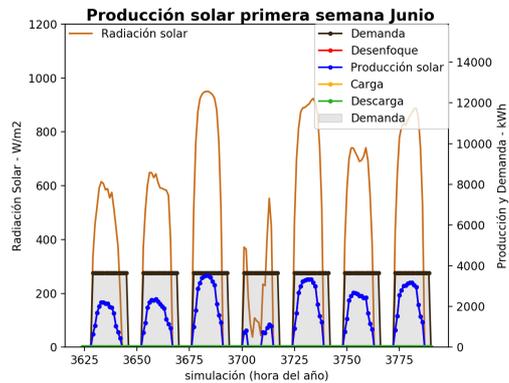
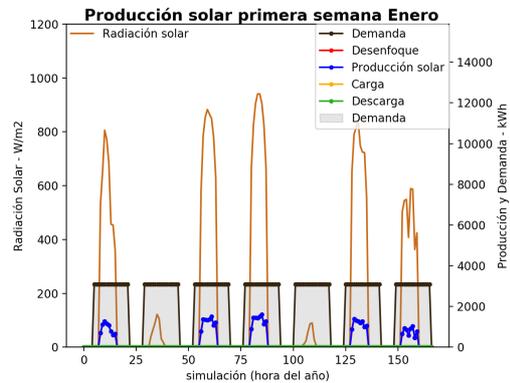
Producción solar en kWh por mes:

Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón	Mes	Producción	Razón
Ene	169813.4	10.4%	Feb	223020.7	13.1%	Mar	400108.4	22.7%
Abr	469385.3	32.0%	May	587124.1	36.6%	Jun	685692.4	36.8%
Jul	833387.0	60.6%	Ago	686684.9	60.9%	Sep	473674.1	32.1%
Oct	300314.6	28.0%	Nov	163997.9	8.7%	Dic	132631.6	9.6%

Detalle de la producción solar en invierno y verano

Las gráficas mostradas a continuación representan el comportamiento de la instalación solar durante la primera semana de Enero (que corresponde al rango de horas 0 y 167 del año) y la primera de Junio (que corresponde al rango de horas 3620 y 3791 del año).

El esquema hidráulico dispone de almacenamiento. En este caso, cuando la **energía solar producida** es mayor que la **demanda de la industria**, esta energía sobrante es almacenada (**columnas naranjas**) para luego poder ser utilizada (**columnas verdes**). Las **columnas azules** representan la energía útil que finalmente se suministra a la industria. Cuando hay un exceso de energía y el depósito está lleno, el sistema solar se **desenfoca** automáticamente.



Detalle del almacenamiento en las semanas de invierno y verano

"Carga" - Energía solar que se almacena en el depósito en un año: 44843.2 kWh

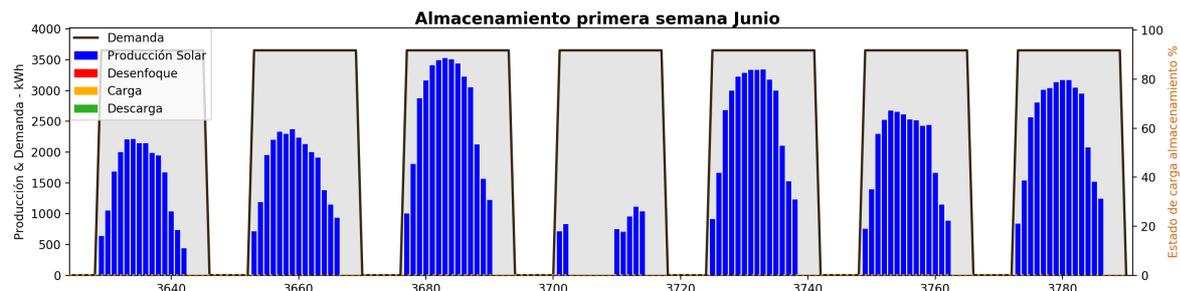
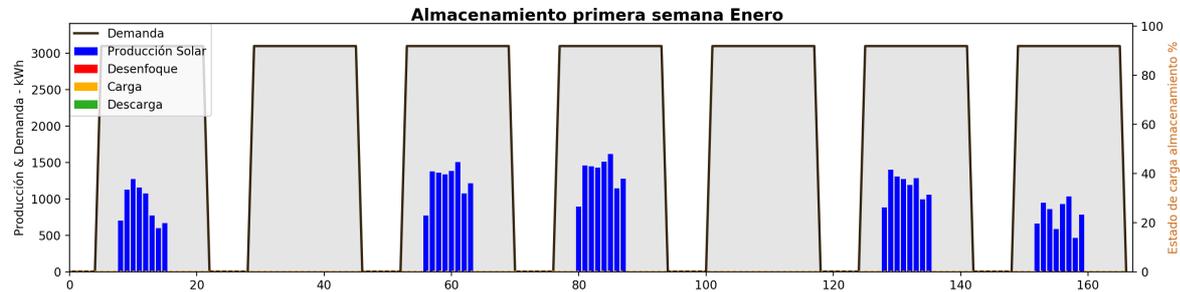
"Descarga" - Energía almacenada que se suministra a la industria en un año: 44843.2 kWh

"Desenfoco" - Energía solar que no puede almacenarse ni puede consumirse en un año: 377372.4 kWh

Porcentaje global de utilización: 92.6 %

Porcentaje de desenfoco: 7.4 % (Porcentaje de energía desenfocada)

Incremento de energía por almacenamiento: 1.0 % (Incremento respecto a la opción sin almacenamiento)



Resultados económicos

Modelo de negocio: turnkey

Inversión total: 1701069.3 €

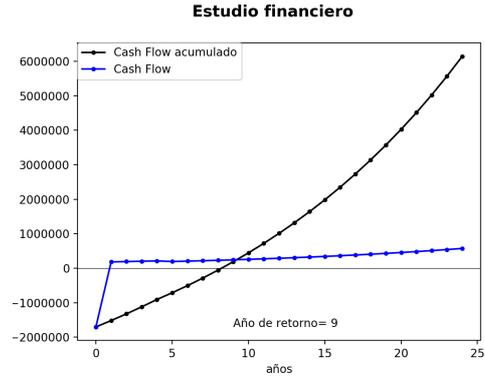
Retorno: Año 9

TIR: 13.8 %

TIR en 10 años: 2.1 %

Ahorro anual por coste de CO₂: 36629.636976708134 €

Año	Cash Flow acumulado	Ahorro solar + emisiones CO ₂ + Mantenimiento	Factura energética industria
Año 0	(1701069) €	0 €	553050.0 €
Año 1	(1516050) €	185019 €	553050.0 €
Año 2	(1322127) €	193922 €	586233.0 €
Año 3	(1118767) €	203360 €	621407.0 €
Año 4	(905403) €	213364 €	658691.4 €
Año 5	(710236) €	195168 €	698212.9 €
Año 6	(503827) €	206408 €	740105.7 €
Año 7	(285504) €	218323 €	784512.0 €
Año 8	(54552) €	230952 €	831582.7 €
Año 9	189787 €	244340 €	881477.7 €
Año 10	448317 €	258530 €	934366.3 €
Año 11	721890 €	273573 €	990428.3 €
Año 12	1011407 €	289517 €	1049854.0 €
Año 13	1317825 €	306418 €	1112845.3 €
Año 14	1642159 €	324334 €	1179616.0 €
Año 15	1985483 €	343324 €	1250392.9 €
Año 16	2348937 €	363454 €	1325416.5 €
Año 17	2733728 €	384791 €	1404941.5 €
Año 18	3141136 €	407409 €	1489238.0 €
Año 19	3572520 €	431383 €	1578592.3 €



Inversión inicial:

- Precio instalación por m²: 268.4768469302492 € [ref: www.solatom.com]

- La inversión incluye: colectores, instalación de conexión, control y adquisición de datos y el mantenimiento inicial de la planta.

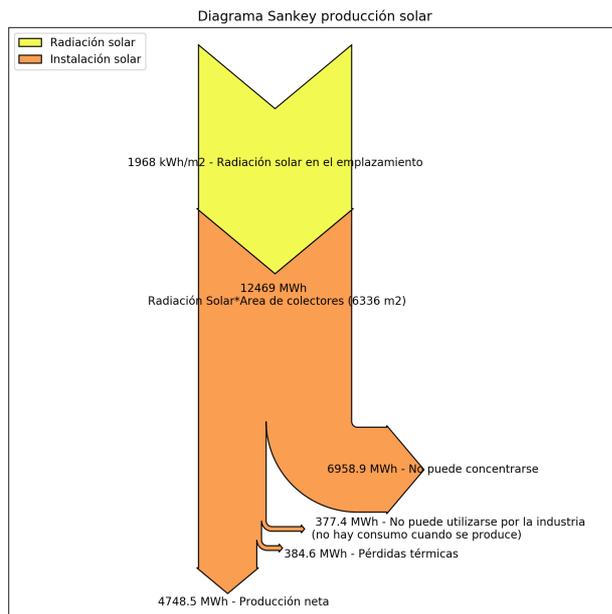
- La inversión **no** incluye: Transporte, refuerzos de cubierta (si fueran necesarios)

Hipótesis tenidas en cuenta durante el estudio económico:

- El ahorro mostrado tiene en cuenta un coste anual de mantenimiento y monitorización de 28800.0 €

- Precio por tonelada de CO₂: 38.6 € [Ref: Ind]. Rendimiento de caldera: 80% [Ref: Ind]. Incremento anual del precio de combustible fósil: 3.5 % [Ref: Forecast to 2022 IEA]. Incremento anual del IPC: 2.5 % [Ref: National Institute of Statistics].

Diagrama de la producción energética del sistema



Distribución de la producción de energía ANUAL en el sistema:

1) Radiación solar: 1968.0 kWh/m²

La radiación solar es la energía disponible en la ubicación seleccionada que llega desde el sol.

2) Energía sobre superficie: 12469.3 MWh

Radiación solar que puede ser reflejada por los espejos

-> 2.1) Energía no concentrada: 6958.9 MWh/año

Radiación que geoméricamente no puede concentrarse en elreceptor y por tanto se pierde

-> 2.2) Energía no utilizada: 377.4 MWh

Radiación solar que llega al receptor pero no puede ser utilizada por la industria (ya que no existe almacenamiento o la industria no necesita energía cuando hay producción solar)

-> 2.3) Energía perdida al ambiente: 384.6 MWh

Pérdidas térmicas del sistema al ambiente

3) Energía transmitida a la industria: 4748.5 MWh

Energía solar que finalmente se suministra a la industria

Datos de la industria - 2021-05-02

Nombre: Marcos

Empresa: PSA

Sector:

Datos financieros

Combustible actual: NG

Precio: 0.0 €/kWh

Modelo de negocio: turnkey

Sistema solar

Localización: Madrid

Superficie disponible: 17000 m

Tipo de terreno: clean_ground

Orientación: NS

Inclinación: flat

Sombras: free

Distancia a la red: n/d

Proceso térmico -

Temp. salida de caldera: 190.0

Temp. entrada a caldera: 180.0 °C

Fluido: water

Presión: 20 bar

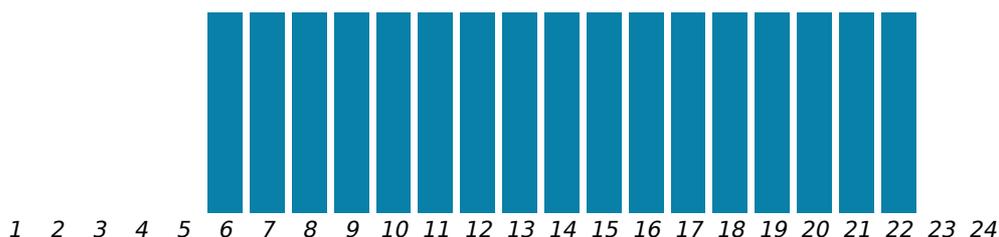
Tipo de integración: SL_L_PS

Consumo energético

Consumo anual de energía: 17697600.0 kWh

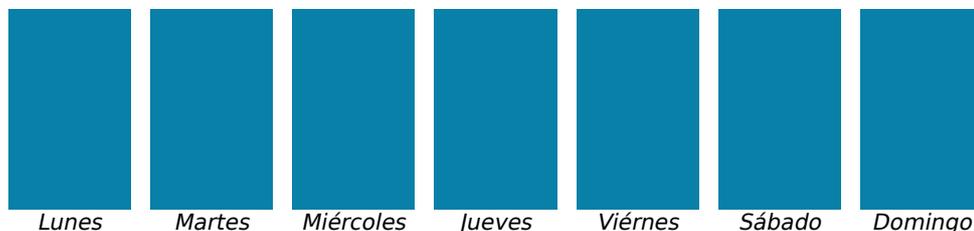
Perfil de consumo diario: -

Demanda



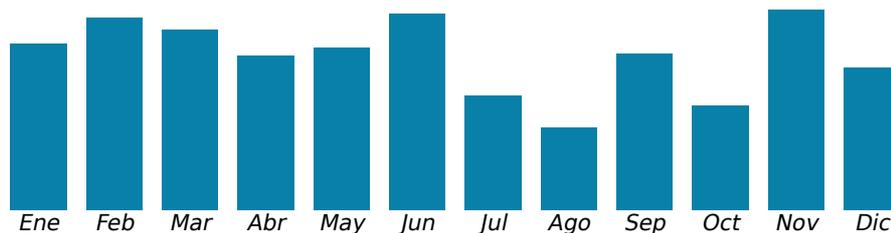
Perfil de consumo semanal:

Demanda



Perfil de consumo anual:

Demanda



\$UnitSystem SI bar C mole kJ**"Funciones económicas"****Subprogram npv**(INV; wacc; r_g; r_e; r_CO2; N; T_g; T_e; T_CO2; E; AG; CO2E: VAN)

$$k_g = (1+r_g)/(1+wacc)$$

$$k_e = (1+r_e)/(1+wacc)$$

$$k_{CO2} = (1+r_{CO2})/(1+wacc)$$

$$f_SIGMAg = f_sigma(k_g; N)$$

$$f_SIGMAe = f_sigma(k_e; N)$$

$$f_SIGMACO2 = f_sigma(k_{CO2}; N)$$

$$VAN = AG * T_g * f_SIGMAg - E * T_e * f_SIGMAe + CO2E * T_{CO2} * f_SIGMACO2 - INV$$

End**Subprogram payback**(INV; wacc; r_g; r_e; r_CO2; N; T_g; T_e; T_CO2; E; AG; CO2E: PR)

$$k_g = (1+r_g)/(1+wacc)$$

$$k_e = (1+r_e)/(1+wacc)$$

$$k_{CO2} = (1+r_{CO2})/(1+wacc)$$

$$f_SIGMAg = f_sigma(k_g; PR)$$

$$f_SIGMAe = f_sigma(k_e; PR)$$

$$f_SIGMACO2 = f_sigma(k_{CO2}; PR)$$

$$VAN = 0$$

$$VAN = AG * T_g * f_SIGMAg - E * T_e * f_SIGMAe + CO2E * T_{CO2} * f_SIGMACO2 - INV$$

End**Subprogram irr**(INV; wacc; r_g; r_e; r_CO2; N; T_g; T_e; T_CO2; E; AG; CO2E: TIR)

$$k_g = (1+r_g)/(1+TIR)$$

$$k_e = (1+r_e)/(1+TIR)$$

$$k_{CO2} = (1+r_{CO2})/(1+TIR)$$

$$f_SIGMAg = f_sigma(k_g; N)$$

$$f_SIGMAe = f_sigma(k_e; N)$$

$$f_SIGMACO2 = f_sigma(k_{CO2}; N)$$

$$VAN = 0$$

$$VAN = AG * T_g * f_SIGMAg - E * T_e * f_SIGMAe + CO2E * T_{CO2} * f_SIGMACO2 - INV$$

End**Function f_sigma**(k; N)if((k<1,01) and (k>0,99)) **Then**

$$f_sigma = N$$

Else

$$f_sigma = k * (1 - k^N) / (1 - k)$$

Endif**End****Function f_amort**(wacc; N)if((wacc<0,01) and (wacc>0)) **Then**

$$f_amort = 1/N$$

Else

$$f_amort = wacc * (1 + wacc)^N / ((1 + wacc)^N - 1)$$

Endif**End****"DATOS"**

$$h_bar_fCH4 = enthalpy(CH4; T=25)$$

$$h_bar_fCO2 = enthalpy(CO2; T=25)$$

$$h_bar_fH2O = enthalpy(H2O; T=25)$$

$$C_{\text{bar_pO2}} = (\text{enthalpy}(\text{O2}; T=185) - \text{enthalpy}(\text{O2}; T=25)) / (185 - 25)$$

$$C_{\text{bar_pN2}} = (\text{enthalpy}(\text{N2}; T=185) - \text{enthalpy}(\text{N2}; T=25)) / (185 - 25)$$

$$C_{\text{bar_pCO2}} = (\text{enthalpy}(\text{CO2}; T=185) - \text{enthalpy}(\text{CO2}; T=25)) / (185 - 25)$$

$$C_{\text{bar_pH2O}} = (\text{enthalpy}(\text{H2O}; T=185) - \text{enthalpy}(\text{H2O}; T=25)) / (185 - 25)$$

f_CO2 = 201,53 "g CO2/kWh-PCS" {b*44000*3600/abs(h_bar_comb) el valor de 201,53 está tomado de "https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/factores_emision_tcm30-479095.pdf" }

$$T_g = 24,56 * 1,11$$

$$T_e = 86,40$$

$$T_{\text{CO2}} = 35$$

$$r_g = 0,023$$

$$r_e = 0,025$$

$$r_{\text{CO2}} = 0,08$$

$$wacc = 0,05$$

$$N = 15$$

$$H = 180 * 16$$

$$INV = 2 * 105407,72 + 91953,32$$

"Estequiometría"

{ CH4 + a*(1+lambda)*(O2 + 3,76 N2) -> b CO2 + c H2O + d (1+lambda) N2 + a lambda O2 }

$$1 = b$$

$$4 = 2 * c$$

$$2 * a = 2 * b + c$$

$$2 * 3,76 * a = 2 * d$$

$$h_{\text{bar_comb}} = b * h_{\text{bar_fCO2}} + c * h_{\text{bar_fH2O}} - h_{\text{bar_fCH4}}$$

"Condición de partida: lambda_0; n_dot_f0"

$$a * (1 + \lambda_0) * (C_{\text{bar_pO2}} + 3,76 * C_{\text{bar_pN2}}) * (25 - 25) = h_{\text{bar_comb}} + (b * C_{\text{bar_pCO2}} + c * C_{\text{bar_pH2O}} + d * (1 + \lambda_0) * C_{\text{bar_pN2}} + a * \lambda_0 * C_{\text{bar_pO2}}) * (185 - 25)$$

"Condición de ahorro: lambda; n_dot_f"

$$a * (1 + \lambda) * (C_{\text{bar_pO2}} + 3,76 * C_{\text{bar_pN2}}) * (75 - 25) = h_{\text{bar_comb}} + (b * C_{\text{bar_pCO2}} + c * C_{\text{bar_pH2O}} + d * (1 + \lambda) * C_{\text{bar_pN2}} + a * \lambda * C_{\text{bar_pO2}}) * (185 - 25)$$

"Prestaciones"

$$Q_{\text{dot_con}} = 612 + 438 + (475/514) * 707$$

$$Q_{\text{dot_con}} = n_{\text{dot_f}} * a * (1 + \lambda) * (C_{\text{bar_pO2}} + 3,76 * C_{\text{bar_pN2}}) * (75 - 25)$$

$$n_{\text{dot_f0}} * (b + c + d * (1 + \lambda_0) + a * \lambda_0) = n_{\text{dot_f}} * (b + c + d * (1 + \lambda) + a * \lambda)$$

$$Q_{\text{dot_gas0}} = n_{\text{dot_f0}} * \text{abs}(h_{\text{bar_comb}})$$

$$Q_{\text{dot_gas}} = n_{\text{dot_f}} * \text{abs}(h_{\text{bar_comb}})$$

$$Q_{\text{dot_gasAHORRADO}} = Q_{\text{dot_gas0}} - Q_{\text{dot_gas}}$$

$$\text{CO2Egas} = Q_{\text{dot_gasAHORRADO}} * H * 1,11 * f_{\text{CO2}} / 1e6$$

$$\text{CO2Eelec} = - (E * 331 / 1000)$$

$$\text{CO2E} = \text{CO2Egas} + \text{CO2Eelec}$$

$$AG = (Q_{\text{dot_gasAHORRADO}} / 1000) * H$$

$$E = ((202 + 131 + 208 * (475/514)) / 1000) * H$$

Call npv(INV; wacc; r_g; r_e; r_CO2; N; T_g; T_e; T_CO2; E; AG; CO2Egas: VAN)

Call payback(INV; wacc; r_g; r_e; r_CO2; N; T_g; T_e; T_CO2; E; AG; CO2Egas: PR)

Call irr(INV; wacc; r_g; r_e; r_CO2; N; T_g; T_e; T_CO2; E; AG; CO2Egas: TIR)

SOLUTION

Unit Settings: SI C bar kJ molar deg

$$a = 2$$

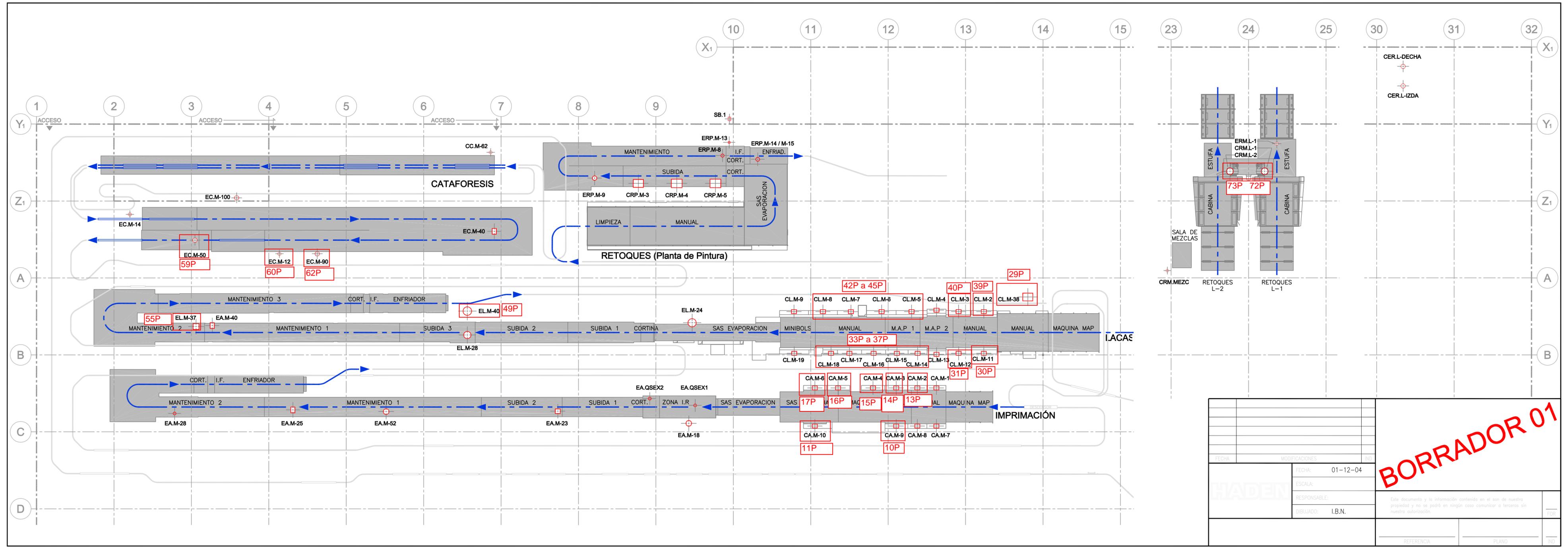
$$AG = 4925 \text{ [MWh]}$$

$$b = 1$$

$$c = 2$$

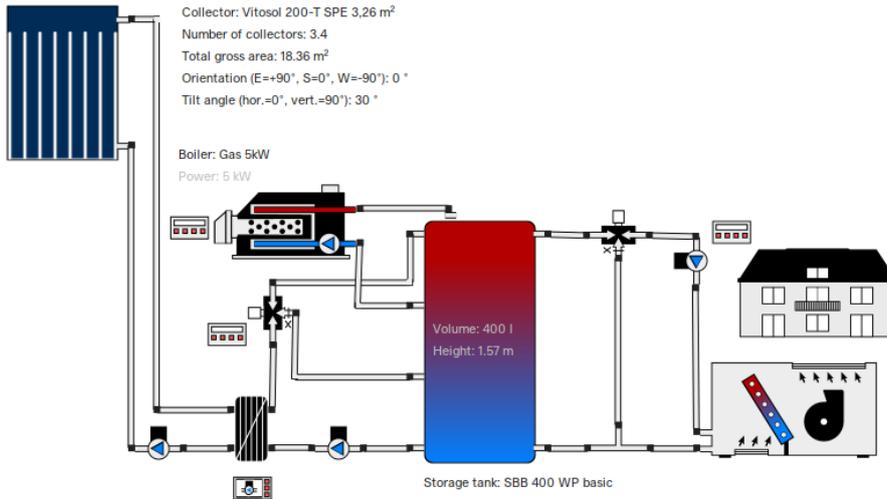
CO_{2E} = 600,9 [ton/año]
CO_{2Eelec} = -500,7
CO_{2Egas} = 1102
 \bar{C}_{pCO_2} = 40,44 [kJ/kmol-K]
 \bar{C}_{pH_2O} = 34,11 [kJ/kmol-K]
 \bar{C}_{pN_2} = 29,21 [kJ/kmol-K]
 \bar{C}_{pO_2} = 30,03 [kJ/kmol-K]
d = 7,52
E = 1513 [MWh]
f_{CO₂} = 201,5 [g/kWh]
H = 2880 [h]
 \bar{h}_{comb} = -802513 [kJ/kmol]
 \bar{h}_{fCH_4} = -74595 [kJ/kmol]
 \bar{h}_{fCO_2} = -393486 [kJ/kmol]
 \bar{h}_{fH_2O} = -241811 [kJ/kmol]
INV = 302769 [€]
 λ = 24,83
 λ_0 = 16,76
N = 15 [años]
 \dot{n}_f = 0,004715 [kmol/s]
 \dot{n}_{f0} = 0,006846 [kmol/s]
PR = 6,673 [años]
 \dot{Q}_{con} = 1703 [kW]
 \dot{Q}_{gas} = 3784 [kW]
 \dot{Q}_{gas0} = 5494 [kW]
 $\dot{Q}_{gasAHORRADO}$ = 1710 [kW]
r_{CO₂} = 0,08 [p.u.]
r_e = 0,025 [p.u.]
r_g = 0,023 [p.u.]
TIR = 0,1896 [p.u.]
T_{CO₂} = 35 [€/ton]
T_e = 86,4 [€/MWh_e]
T_g = 27,26 [€/MWh_t-PCS]
VAN = 447036 [€]
wacc = 0,05 [p.u.]

30 potential unit problems were detected.



FECHA	MODIFICACIONES	IND

BORRADOR 01	
HADEN	Este documento y la información contenida en el son de nuestra propiedad y no se podrá en ningún caso comunicar a terceros sin nuestra autorización.
FECHA: 01-12-04 ESCALA: RESPONSABLE: DIBUJADO: I.B.N.	REFERENCIA: _____ PLANO: _____ IND: _____



Location of the system

Spain
 MADRID
 Longitude: -3.71 °
 Latitude: 40.41 °
 Elevation: 608 m

This report has been created by:

System overview (annual values)

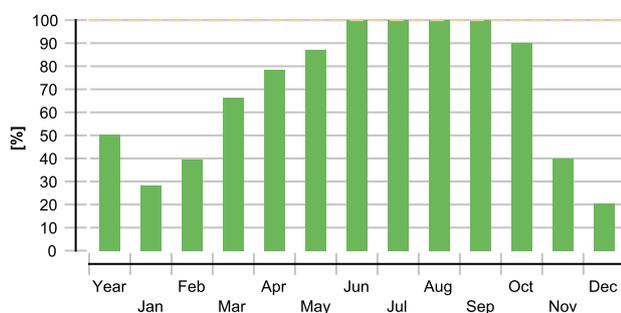
Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]	6,592 kWh
Total electricity consumption [Ecs]	152 kWh
Total gas consumption [Egas]	6,440 kWh
Total energy consumption [Quse]	7,560 kWh
System performance $[(Quse+Einv) / (Eaux+Epar)]$	1.15
Primary energy factor	0.97
Comfort demand	Energy demand covered

Professional Report

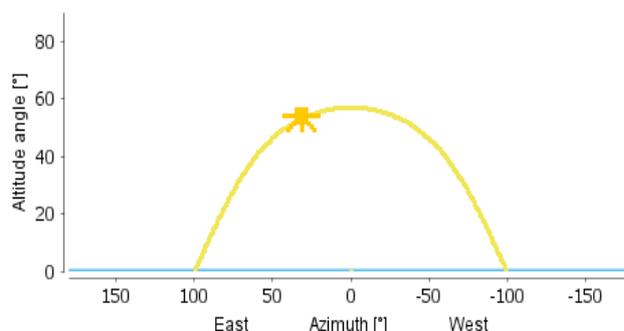
Overview solar thermal energy (annual values)

Collector area	18.4 m ²
Solar fraction total	50.3%
Total annual field yield	5,348.4 kWh
Collector field yield relating to gross area	291.3 kWh/m ² /Year
Collector field yield relating to aperture area	454.6 kWh/m ² /Year
Max. fuel savings	566 m ³ (gas): [Natural gas H]
Max. energy savings	5,942.6 kWh
Max. reduction in CO2 emissions	1,376 kg

Solar fraction: fraction of solar energy to system [SF_n]



Horizon line



Meteorological data-Overview

Average outdoor temperature	15.6 °C
Global irradiation, annual sum	1,642 kWh/m ²
Diffuse irradiation, annual sum	581 kWh/m ²

Component overview (annual values)

Boiler		Gas 5kW	
Power	kW		5
Total efficiency	%		82
Energy from/to the system [Q _{aux}]	kWh		5,282
Fuel and electricity consumption [E _{aux}]	kWh		6,440
Fuel consumption of the back-up boiler [B _{aux}]	m ³ (gas)		613
Energy savings solar thermal	kWh		5,943
CO2 savings solar thermal	kg		1,376
Fuel savings solar thermal	m ³ (gas)		566
Exhaust fumes losses [Q _{ex}]	kWh		644

Professional Report

Collector	Vitosol 200-T SPE 3,26 m²	
Data Source		TÜV Rheinland
Number of collectors		3.4
Number of arrays		4
Total gross area	m ²	18.36
Total aperture area	m ²	11.764
Total absorber area	m ²	11.76
Tilt angle (hor.=0°, vert.=90°)	°	30
Orientation (E=+90°, S=0°, W=-90°)	°	0
Collector field yield [Qsol]	kWh	5,348
Irradiation onto collector area [Esol]	kWh	22,147
Collector efficiency [Qsol / Esol]	%	24.1
Direct irradiation after IAM	kWh	14,244
Diffuse irradiation after IAM	kWh	6,712
Building	-	
Heating setpoint temperature	°C	20
Heating energy demand excluding DHW [Qdem]	kWh	7,600
Useful heat gain	kWh	11,400
Total energy losses	kWh	19,000
Fan coil	NUESTRO	
Nominal heating power	W	2,500
Nominal hot water inlet temperature	°C	85
Nominal hot water return temperature	°C	75
Net energy from/to heating/cooling modules	kWh	7,558
External heat exchanger Solar loop	huge	
Transfer capacity	W/K	30,000
Pump Heating loop	Eco, medium	
Circuit pressure drop	bar	0.001
Flow rate	l/h	321
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	86.6
Pump Solar loop	Eco, medium	
Circuit pressure drop	bar	0.003
Flow rate	l/h	176
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	32.8
Pump Transfer circuit	Eco, medium	
Circuit pressure drop	bar	0.001
Flow rate	l/h	176
Fuel and electricity consumption [Epar]	kWh	32.8

Professional Report

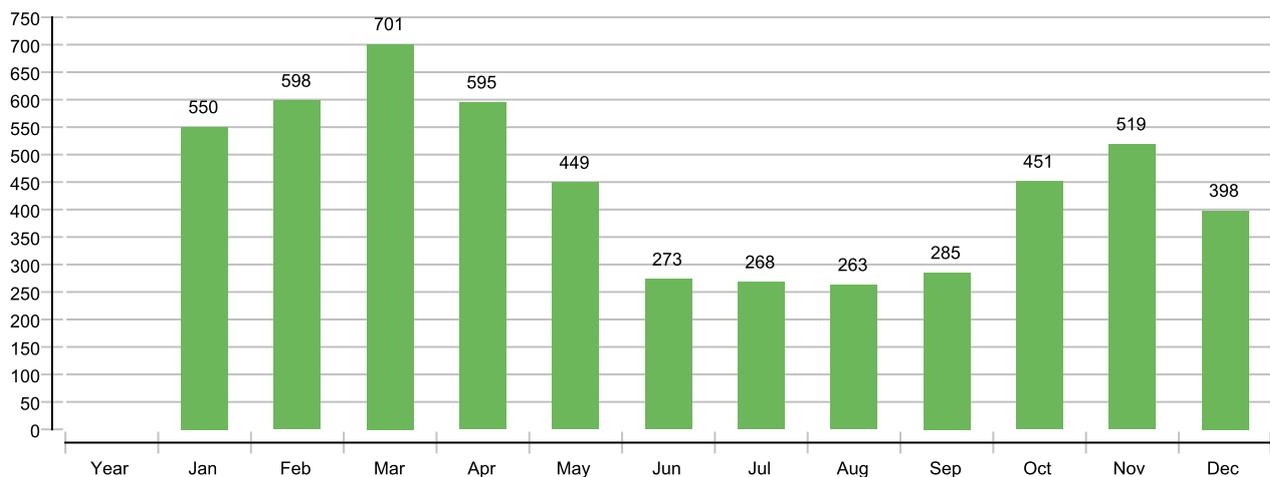
Storage tank Buffer tank	SBB 400 WP basic	
Volume	l	400
Height	m	1.57
Material		Enameled steel
Insulation		Rigid PU foam
Thickness of insulation	mm	50
Heat loss [Qhl]	kWh	820
Connection losses	kWh	352

Loop

Solar loop		
Fluid mixture		Propylene mixture
Fluid concentration	%	33.3
Fluid domains volume	l	32.1
Pressure on top of the circuit	bar	4

Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh

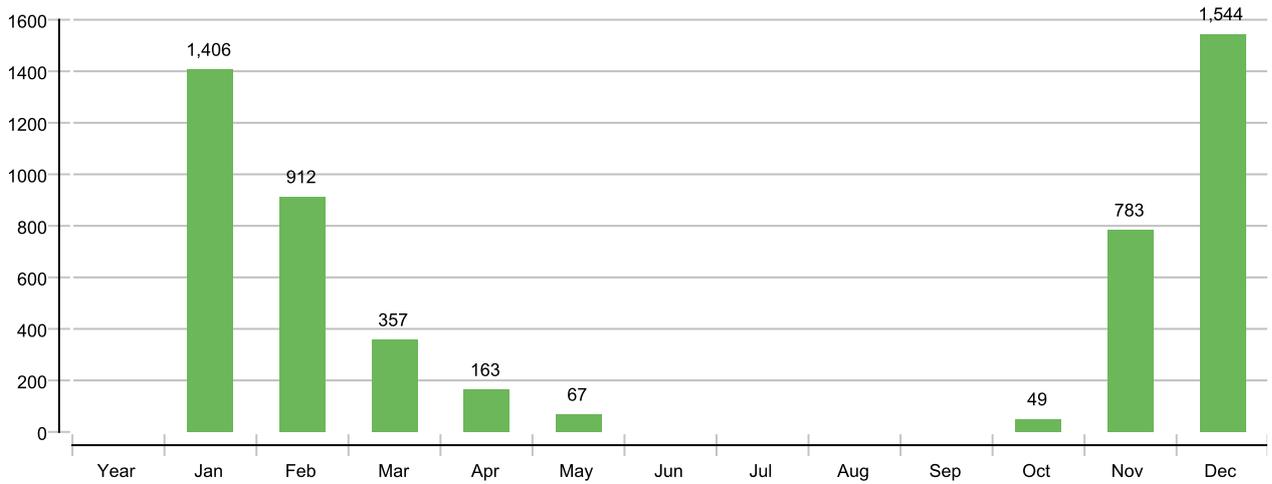


Professional Report

Education Version

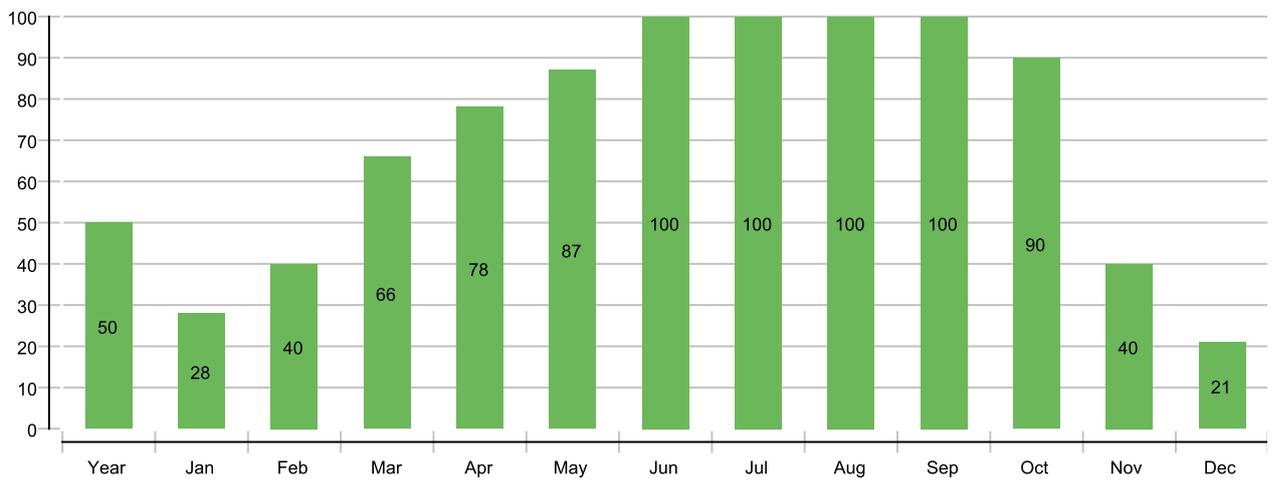
Heat generator energy to the system (solar thermal energy not included) [Qaux]

kWh



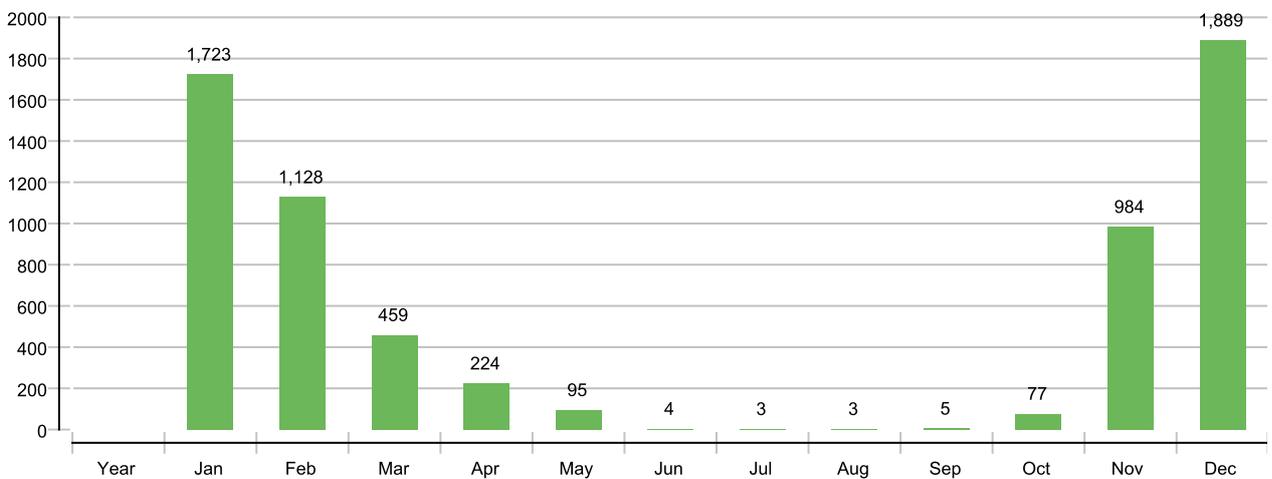
Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]

%



Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]

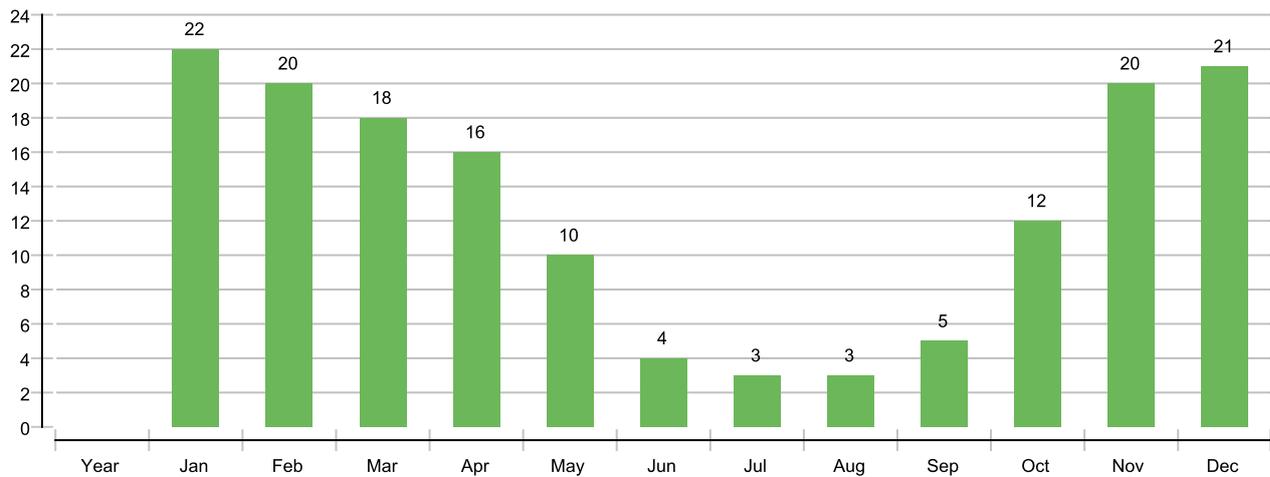
kWh



Professional Report

Total electricity consumption [Ecs]

kWh



Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Solar thermal energy to the system [Qsol]

kWh	5348	550	598	701	595	449	273	268	263	285	451	519	398
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Heat generator energy to the system (solar thermal energy not included) [Qaux]

kWh	5282	1406	912	357	163	67	0	0	0	0	49	783	1544
-----	------	------	-----	-----	-----	----	---	---	---	---	----	-----	------

Heat generator fuel and electricity consumption [Eaux]

kWh	6440	1702	1109	441	208	85	0	0	0	0	65	963	1868
-----	------	------	------	-----	-----	----	---	---	---	---	----	-----	------

Solar fraction: fraction of solar energy to system [SFn]

%	50.3	28.1	39.6	66.2	78.5	87	100	100	100	100	90.2	39.8	20.5
---	------	------	------	------	------	----	-----	-----	-----	-----	------	------	------

Total fuel and/or electricity consumption of the system [Etot]

kWh	6592	1723	1128	459	224	95	4	3	3	5	77	984	1889
-----	------	------	------	-----	-----	----	---	---	---	---	----	-----	------

Irradiation onto collector area [Esol]

kWh	22147	1245	1348	2028	1999	2270	2399	2548	2471	2087	1658	1170	925
-----	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----

Electricity consumption of pumps [Epar]

kWh	152.3	21.7	19.7	18.1	15.5	10.2	3.6	3	2.9	4.7	11.7	20.4	20.8
-----	-------	------	------	------	------	------	-----	---	-----	-----	------	------	------

Total energy consumption [Quse]

kWh	7560	1704	1276	771	505	227	10	0	0	25	240	1091	1711
-----	------	------	------	-----	-----	-----	----	---	---	----	-----	------	------

Heat loss to indoor room (including heat generator losses) [Qint]

kWh	2971	337	278	255	229	221	206	212	209	203	217	268	337
-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Heat loss to surroundings (without collector losses) [Qext]

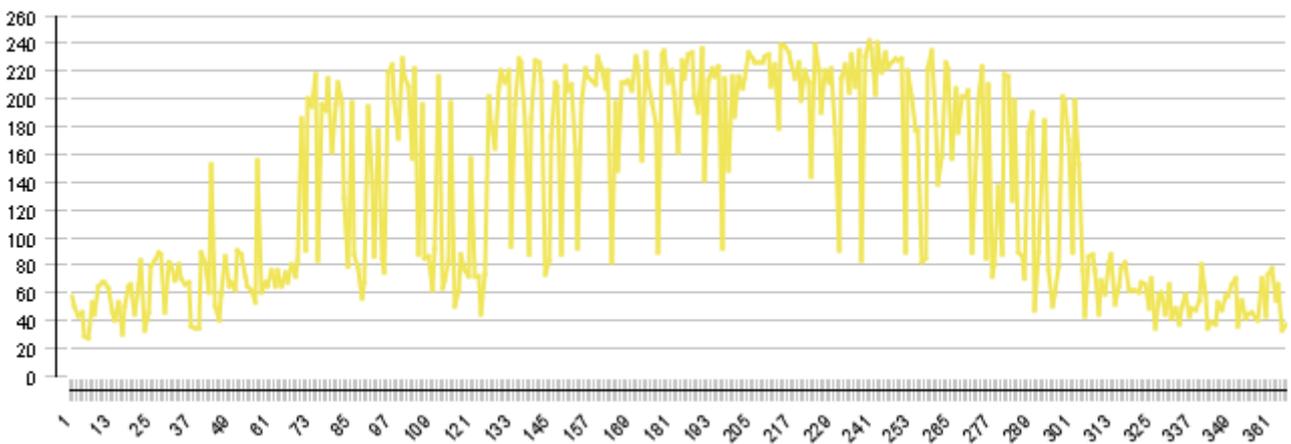
kWh	764	58	63	79	76	72	61	58	58	62	71	58	48
-----	-----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Total electricity consumption [Ecs]

kWh	152	22	20	18	16	10	4	3	3	5	12	20	21
-----	-----	----	----	----	----	----	---	---	---	---	----	----	----

Collector

Daily maximum temperature [°C]



Professional Report

Energy flow diagram (annual balance)

