



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS EN UNA MICRORRED INTELIGENTE

Autor: Dionisio Arredondo Bonilla

Director: Julio Montes Ponce de León

Madrid

Julio de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. **Dionisio Arredondo Bonilla** DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: **ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS EN UNA MICRORRED INTELIGENTE**, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a ... 14 de JULIO de 2019

ACEPTA



Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

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

APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LAS REGIONES

BIOQUÍMICAS EN UNA MICRORED INTELIGENTE.

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

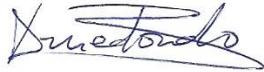
curso académico 2018-2019 es de mi autoría, original e inédito y

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.: DIONISIO ARREDONDO BONILLA

Fecha: 14/07/19.



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

JULIO TONTEROS PONLE DE LEÓN

Fdo.:



Fecha: 15/07/19.



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS EN UNA MICRORRED INTELIGENTE

Autor: Dionisio Arredondo Bonilla

Director: Julio Montes Ponce de León

Madrid

Julio de 2019

ESTUDIO DEL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS BIOMÁSICOS EN UNA MICRORRED INTELIGENTE

Autor: Dionisio Arredondo Bonilla.

Director: Julio Montes Ponce de León.

Entidad Colaboradora: Universidad Pontificia Comillas I.C.A.I.

RESUMEN DEL PROYECTO.

Se lleva a cabo en este proyecto el estudio de la implantación de una microrred inteligente con la que se pretende conseguir una mejor y más eficiente red de distribución eléctrica, un aprovechamiento de la energía generada por centrales pequeñas lo más cerca posible a su producción y además se gestione de forma inteligente la energía procedente de fuentes renovables para que cubran el máximo posible de demanda en todo momento, incluyendo en este mix la energía procedente de biomasa.

El precio de la electricidad en España se ha disparado en los últimos años debido al déficit tarifario, a las primas al régimen especial, el incremento en la cotización de los derechos de emisión de CO₂ y el encarecimiento de las materias primas (petróleo, gas natural y carbón). Con la implantación de microrredes se pretende acabar con este incremento desmesurado del precio de la electricidad.

La localización elegida para la implantación de la microrred es la ciudad de Linares en Jaén, con 57.811 habitantes. En sus alrededores hay instalados 212.18 MW de potencia hidroeléctrica que serán integrados en la microrred para satisfacer la demanda de la ciudad, cuyo máximo de 45 MW ha sido escogido para el diseño de la microrred.

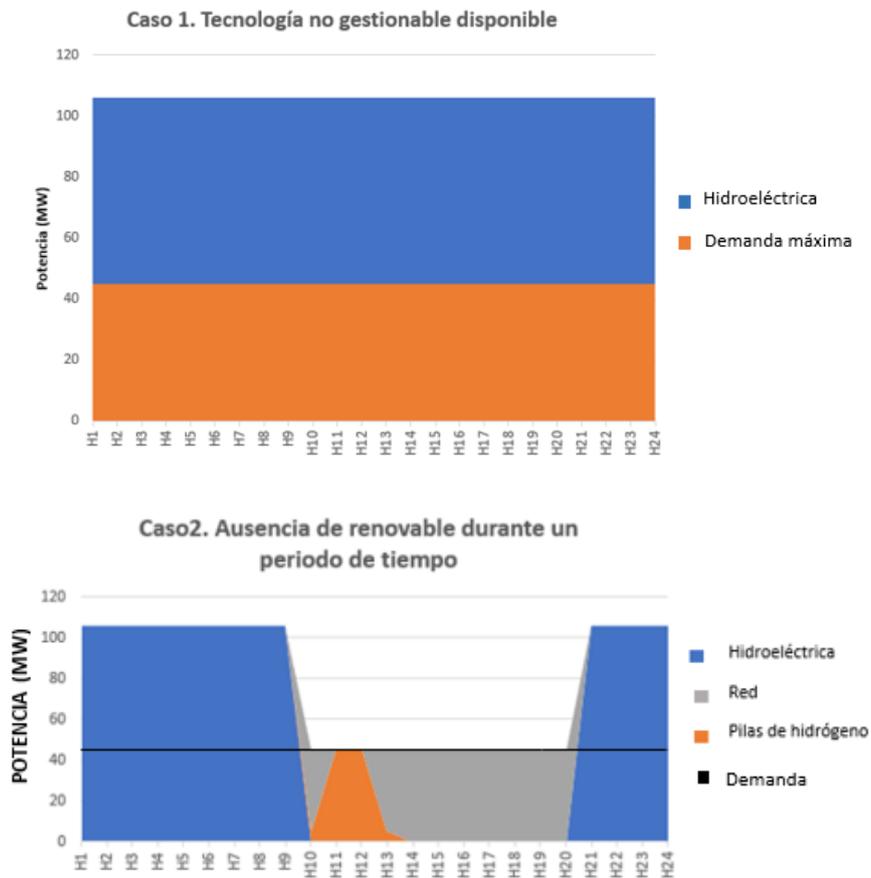
A esta potencia hidroeléctrica se suman 50 MW de potencia en pilas de hidrógeno. Este hidrógeno procede de residuos biomásicos tratados en una planta de gasificación por plasma, dimensionada para tener una capacidad de 110,5 toneladas diarias de residuos. La gasificación por plasma es un proceso libre de emisiones dañinas para el medio ambiente, utilizado como alternativa a las incineradoras o los vertederos controlados para el tratado de residuos, en el que se obtiene como producto un gas de síntesis rico en hidrógeno y monóxido de carbono.

La localización elegida para la microrred es especialmente interesante en cuanto a potencial biomásico. Andalucía contaba en 2016 con un total de 1.561.950 hectáreas de olivar, siendo Jaén la provincia en la que se encuentra el mayor porcentaje de estas hectáreas, más de 500.000, según la organización profesional agraria ASAJA-Jaén. La importancia de estos datos reside en la cantidad de alperujo obtenido como subproducto de la producción de aceite de oliva, que será posteriormente aprovechado en la planta de gasificación.

Se espera que el estudio llevado a cabo en este proyecto sirva de inspiración en el sector energético español para que se extienda el uso de la biomasa para la producción energética ya que, hoy en día, contribuye sólo en un 2% al mix energético. Situación paradójica, si se tiene en cuenta que España es el tercer país europeo por recursos absolutos de biomasa forestal (sólo por detrás de Suecia y Finlandia).

Tras el estudio de distintos casos de generación ha quedado demostrada la viabilidad técnica de la microrred, siendo posible satisfacer la demanda en todo momento con las tecnologías

renovables pertenecientes a la microrred y una pequeña parte de energía extraída de la red general.



Se ha llevado a cabo un estudio económico de la microrred en el que se han calculado los costes totales de la inversión inicial, los costes de amortización y de explotación de cada tecnología, y los costes de generación de cada tecnología. También se analiza la rentabilidad de la inversión mediante el cálculo del Valor Actual Neto de esta, suponiendo un escenario muy desfavorable en el que el tipo de interés sea del 10%. Obteniéndose un VAN de 453,8 M€ se demuestra la rentabilidad para el inversor.

STUDY OF THE ENERGY USE OF BIOMASS WASTE IN AN SMART MICROGRID

Author: Dionisio Arredondo Bonilla.

Director: Julio Montes Ponce de León.

Collaborating Entity: Universidad Pontificia Comillas I.C.A.I.

ABSTRACT.

In this project, the study of the implementation of an intelligent microgrid is being carried out in order to: achieve a better and more efficient electrical distribution grid, use of the energy generated by small power stations as close as possible to their production and the smart management of energy from renewable sources so that they cover the maximum possible demand at all times, including in the mix the energy from biomass.

The price of electricity in Spain has risen fast in recent years due to the tariff deficit, the premiums for the special regime, the increase in the price of CO₂ emission rights and the rise in the price of raw materials (oil, natural gas and coal). The aim with the implementation of microgrids is to put an end to this disproportionate increase in the price of electricity.

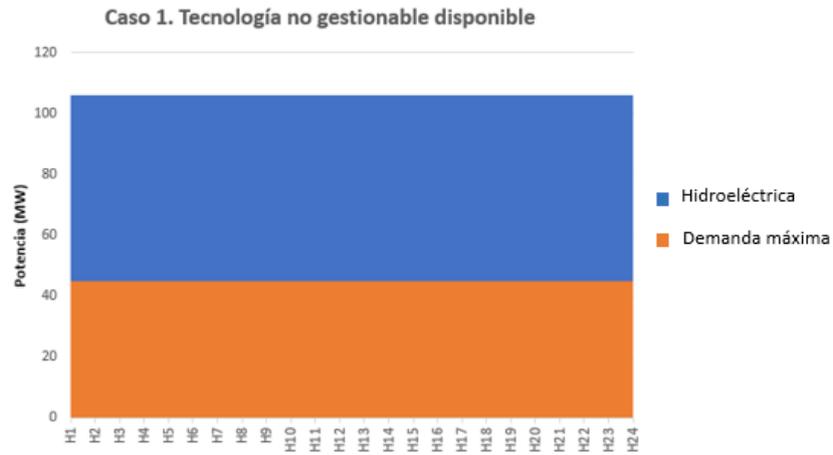
The microgrid will be located in Linares, a 57,811 inhabitants' town in the province of Jaén. There are 212,18 MW of hydroelectric power installed in the surroundings of the city that will be integrated in the microgrid to satisfy the demand of the town, whose maximum of 45 MW has been chosen for the design of the microgrid.

The location chosen for the microgrid is particularly interesting in terms of biomass potential. In 2016 Andalusia had a total of 1,561,950 hectares of olive groves, more than 500,000 of these hectares are found in Jaén, according to the professional agricultural organization ASAJA-Jaén. The importance of these data lies in the amount of alperujo obtained as a by-product of olive oil production, which will later be used in the gasification plant.

50 MW of power in hydrogen cells are added to this hydroelectric power. This hydrogen comes from biomass waste treated in a plasma gasification plant, sized to have a capacity of 110.5 tons of waste per day. Plasma gasification is a process free of harmful emissions to the environment, used as an alternative to incinerators or controlled landfills for waste treatment, in which a synthesis gas rich in hydrogen and carbon monoxide is obtained as a product.

It is hoped that the study carried out in this project will inspire the Spanish energy sector to extend the use of biomass for energy production since, today, it contributes only in a 2% to the energy mix. This situation is paradoxical if we consider that Spain is the third European country in terms of absolute forest biomass resources (only behind Sweden and Finland).

After the study of different generation cases, the technical feasibility of the microgrid has been demonstrated, being possible to satisfy the demand always with the renewable technologies belonging to the microgrid and a small part of the energy extracted from the general grid.



An economic study of the microgrid has been carried out in which the total costs of the initial investment, the amortisation and operating costs of each technology, and the generation costs of each technology have been calculated. The profitability of the investment is also analysed by calculating its Net Present Value, assuming a very unfavourable scenario in which the interest rate is 10%. A NPV of 453.8 M€ shows the profitability for the investment.

INDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	15
1.1	OBJETIVOS.....	18
2	ESTADO DEL ARTE	19
2.1	SISTEMA ELÉCTRICO EN ESPAÑA.....	19
2.2	MICRORREDES INTELIGENTES.....	20
2.3	EJEMPLOS DE MICRORREDES INTELIGENTES	21
2.3.1	MICRORRED EN LA ISLA DE LA GRACIOSA.....	21
2.3.2	KYOTO ECO-ENERGY PROJECT.....	22
2.3.3	KYTHNOS MICROGRID.....	22
2.4	GASIFICACIÓN POR PLASMA	23
2.5	INSTALACIONES DE GASIFICACIÓN POR PLASMA EN FUNCIONAMIENTO.....	24
2.5.1	CHEONGSONG, COREA.....	24
2.5.2	MIHAMA-MIKATA, JAPAN.....	25
2.5.3	PUNE, INDIA.....	25
3	SUMINISTRO ELÉCTRICO EN LINARES	27
3.1	INFORMACIÓN Y CLIMATOLOGÍA DE LINARES.....	27
3.2	CONSUMO Y MÁXIMOS DE DEMANDA.....	28
3.3	ENERGIAS RENOVABLES EN LA ZONA DE LINARES.....	30
3.3.1	FOTOVOLTÁICA	31
3.3.2	BIOMASA	31
3.3.3	EÓLICA.....	32
3.3.4	HIDROELÉCTRICA.....	32
4	RECURSOS BIOMÁSICOS EN LINARES	35
4.1	RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	35
4.2	RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	36
4.2.1	LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA	36
4.2.2	PRODUCCIÓN DE ALPERUJO EN LA ZONA DE LINARES	37
4.3	RESIDUOS FORESTALES	37
4.4	RESIDUOS BIOMÁSICOS FINALES EN LA PLANTA	38
5	GASIFICACIÓN POR PLASMA DE LA BIOMASA.....	39
5.1	INTRODUCCIÓN.....	39
5.2	MÉTODOS MÁS USADOS PARA LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS.....	39
5.2.1	INCINERACIÓN.....	39
5.2.2	VERTEDERO CONTROLADO	39

5.3	FUNDAMENTOS DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA.....	40
5.3.1	EL PLASMA.....	40
5.3.2	ETAPAS DEL PROCESO.....	41
5.3.3	CARACTERÍSTICAS DEL GAS DE SÍNTESIS.....	44
6	PLANTA DE GASIFICACIÓN POR PLASMA.....	45
6.1	DIMENSIONAMIENTO.....	45
6.2	BALANCE ENERGÉTICO.....	45
6.3	CICLO RANKINE DE RECUPERACIÓN DE CALOR.....	48
6.4	CALOR CEDIDO POR EL CONDENSADOR PARA SECADO DE RESIDUOS.....	50
6.5	PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN REACCIÓN SHIFT.....	50
7	HIDRÓGENO. PILAS DE COMBUSTIBLE Y ALMACENAMIENTO.....	51
7.1	INTRODUCCIÓN.....	51
7.2	FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE.....	51
7.3	TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE.....	52
7.4	SELECCIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE. PEMFC.....	53
7.5	ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO.....	54
7.6	PRODUCCIÓN DE ENERGÍA CON EL SISTEMA DE PILAS.....	55
8	SUMINISTRO ELÉCTRICO A LINARES CON UNA MICRORRED INTELIGENTE.....	57
8.1	INTRODUCCIÓN.....	57
8.2	CONFIGURACIÓN DE LA MICRORRED.....	57
8.3	CASOS DE ESTUDIO.....	57
8.3.1	CASO 1. TECNOLOGÍAS RENOVABLES EN FUNCIONAMIENTO.....	57
8.3.2	CASO 2. ASEUNCIA DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES DURANTE UN PERIODO DE TIEMPO	58
9	CONCLUSIONES ENERGÉTICAS.....	59
10	ESTUDIO ECONÓMICO DE LAS DISTINTAS FUENTES DE GENEREACIÓN.....	61
10.1	ESTUDIO ECONÓMICO DE LA TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA.....	61
10.1.1	INVERSIÓN INICIAL.....	62
10.1.2	COSTES DE EXPLOTACIÓN.....	63
10.1.3	COSTES DE GENERACIÓN TECNOLOGÍA HIDRÁULICA.....	63
10.2	ESTUDIO ECONÓMICO DE LA TECNOLOGÍA DE PLASMA Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE	63
10.2.1	GASIFICACIÓN DE RESIDUOS.....	63
10.2.2	CICLO RANKINE.....	64
10.2.3	PILAS DE COMBUSTIBLE.....	65
11	ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN.....	67

ANEXO A. Listado de fábricas y cooperativas en los alrededores de Linares	69
ANEXO B. Catálogo pila HYDROGENICS 1 MW.....	75
REFERENCIAS.....	77
BIBLIOGRAFIA.....	78

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** España el precio de la energía se ha disparado llegando a ser uno de los más caros de Europa. A partir de 2010, siendo en este año unos de los más bajo a nivel europeo, el precio de la electricidad para un hogar medio comenzó a incrementar hasta llegar a cifras tan elevadas como la de la primera mitad de 2018, 60 €/MWh. [1]



Figura 1. Precio del MWh en los principales mercados mayoristas europeos. [2]

Hasta el año 2013 el precio de la electricidad en España se fijaba en subastas trimestrales. Desde entonces, se decidió cambiar el método de subastas trimestrales a una fijación diaria del precio de la electricidad con el objetivo de reducir la intervención del estado y disminuir los costes de financiación de estas subastas. El precio pasó a estar compuesto en un 40% por peajes (transporte, distribución, subvenciones, amortización del déficit tarifario, etc.), un 25% impuestos y un 35% establecido por las empresas generadoras. [2]

Conviene explicar, para entender parte de las causas de la subida de precios, como se establecen los precios correspondientes a ese último 35%. Las empresas generadoras, cada día lanzan 24 ofertas, una para cada hora del día siguiente, a través de un algoritmo que estudia las predicciones de demanda a nivel nacional y europeo se tratan de casar la oferta y la demanda en un punto de equilibrio. Cabe destacar que las ofertas de las generadoras se ordenan por orden de mayor a menor coste. Tienen prioridad en entrar en el mix energético las energías procedentes de renovables. Las empresas generadoras de renovables ofertarán a un precio cercano a cero. Posteriormente, entran en juego las energías con costos más elevados (térmica, nuclear, etc.) ofertándose las mismas a un precio más elevado. Finalmente, el precio de la electricidad para esa hora se fija acorde con la última oferta que entró en el pool, es decir, la que tiene el precio más caro.

Por tanto, cuanto más elevados sean los costes de producción de las energías no renovables pertenecientes al mix energético más caro será el precio de la electricidad.

Consecuentemente, algunos de los factores que han llevado a aumentar el precio de la electricidad en los últimos años han sido el encarecimiento de las materias primas (petróleo, gas natural y carbón) y el incremento de la cotización de los derechos de emisión de CO₂.

Otro de los detonantes de la subida del precio de la electricidad ha sido el sistema de primas y subvenciones que se instauró en España tras la liberalización del sector energético.

Por otro lado, se implantó el sistema de tarifas especial, este sistema clasifica la generación de energía en dos grupos:

- Régimen especial. Se otorga a las instalaciones de producción energética procedentes de fuentes renovables, residuos y cogeneración de hasta 50 MW. Esta electricidad tiene prioridad de entrada en el mix energético y además está subvencionada con primas.
- Régimen ordinario. Resto de centrales de producción energética que pretenden entrar en el mix energético.

Este sistema acarrió dos problemas principales. El primero fue el abuso por parte de los empresarios de las subvenciones a las energías renovables, que se tradujo en una construcción masiva de parques eólicos y fotovoltaicos con dudosa eficiencia, dejándose de lado otras fuentes de energía renovables menos populares como la mareomotriz, la geotérmica o la biomasa. El segundo es la obtención de un mix energético en el que se priorizan energías renovables no gestionables (eólica y fotovoltaica) y que, por tanto, depende en gran parte de factores meteorológicos. Es necesario tener entonces una potencia instalada de energía gestionable (ciclo combinado, nuclear, etc.) equivalente a la potencia renovable para hacer frente a la ausencia de las renovables o en su defecto importar energía de otros países. Lo que conlleva un enorme gasto de mantenimiento de las centrales de ciclo combinado, muchas veces infrautilizadas, y una fuerte dependencia energética de otros países. Como se muestra en la Figura 2, España está muy por encima de la media europea en cuanto a dependencia de energía primaria con otros países.

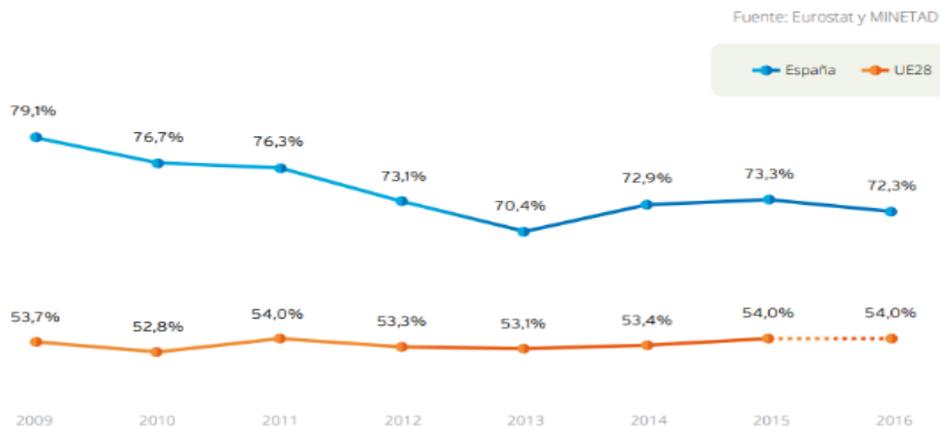


Figura 2. Dependencia de energía primaria en España. [3]

Con objeto de reducir la dependencia energética de España y, sobre todo, de hacer una mejor gestión de la potencia instalada de energía no gestionable, este proyecto llevará a cabo el estudio de una posible red inteligente en la ciudad de Linares, que incluya el aprovechamiento energético de la biomasa residual. Con esta red se consigue una mejor y más eficiente red de distribución eléctrica, mediante la cual se aproveche la energía generada por centrales pequeñas lo más cerca posible a su producción y además se gestione de forma inteligente la energía procedente de fuentes renovables para que cubran el máximo posible de demanda en todo momento.

Dentro del marco de este proyecto, también se llevará a cabo el estudio de una planta de aprovechamiento de residuos biomásicos que formará parte de esta red inteligente como energía gestionable. Planteando así una posible solución para aprovechar el potencial energético de los residuos biomásicos, los cuales están totalmente desaprovechados en España. Asimismo, se pretenden eliminar de forma sostenible y eficiente la cantidad de vertederos controlados, según exigió la Unión Europea en una publicación sobre economía circular.

Es de especial interés señalar la privilegiada localización en la que se sitúa este proyecto. Andalucía contaba en 2016 con un total de 1.561.950 hectáreas de olivar, siendo Jaén la provincia en la que se encuentra el mayor porcentaje de estas hectáreas, más de 500.000, según la organización profesional agraria ASAJA-Jaén. La importancia de estos datos reside en la cantidad de alperujo obtenido como subproducto de la producción de aceite de oliva. El alperujo, es la mezcla de todos los residuos de la aceituna obtenida después de la transformación en dos fases de esta en aceite. Se trata, por tanto, de un material muy eficiente para ser utilizado en la planta de aprovechamiento de residuos biomásicos.

Mediante un sistema de gasificación por plasma se consigue la disociación completa de la materia en un ciclo cerrado por lo que no habrá emisión directa de gases a la atmósfera. Como resultado del proceso, se obtiene un gas rico en H₂ y CO₂ a alta temperatura, cuyo calor se utilizará en un ciclo Rankine para cuadrar el balance energético de la planta, y un material inorgánico vitrificado.

El hidrógeno obtenido en el proceso se almacenará cuando la demanda pueda ser cubierta por energías no gestionables, para su posterior utilización y transformación en energía eléctrica cuando sea requerido en ausencia de otras renovables no gestionables.

Una vez repasados los principales problemas relacionados con la distribución en la red eléctrica y el precio de la electricidad en España y resaltada la necesidad de implantación de un sistema sostenible de aprovechamiento de los residuos biomásicos, tanto en potencia, como los almacenados ya en vertederos controlados, se puede justificar la realización de este proyecto para estudiar una solución viable y beneficiosa a estas cuestiones.

1.1 OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es el estudio de la viabilidad, tanto técnica como económica, de una microrred inteligente en la ciudad de Linares. Con la implantación de esta, se pretende abaratar el precio de la electricidad gracias a una gestión eficiente del mix energético. El desarrollo de este proyecto pasa por la consecución de cinco objetivos principales.

- Recopilación de datos de demanda en Linares, así como los datos de generación en los alrededores de la ciudad. Se estudiará la ubicación y la potencia de los principales puntos de generación tanto gestionable como generación no gestionable (eólica y fotovoltaica principalmente) cercanos a Linares. Una vez analizados estos datos se procederá a hacer un estudio en el que se tendrán en cuenta: diferentes escenarios de demanda y posibles mixes energético según las condiciones de cada momento.
- Recopilación de datos de producción de residuos biomásicos en los alrededores de Linares, tanto residuos sólidos urbanos como forestales o agrícolas. Tendrán especial interés en esta recopilación de datos los residuos procedentes del olivo, ya que este cultivo está muy extendido en la provincia de Jaén.
- Basándose en el análisis de estos datos y en los resultados del análisis de diferentes escenarios mencionado anteriormente, se procederá al dimensionamiento de una planta de aprovechamiento energético de los residuos biomásicos. La cual formará parte de la microrred que se pretende diseñar.
- Una vez diseñada la microrred, en la que se incorporará el método óptimo de almacenamiento de hidrógeno procedente de la planta de aprovechamiento de residuos, se estudiará la viabilidad técnica de la misma. Se llevará a cabo un estudio de diferentes situaciones de mix energético.
- Estudio económico de la inversión necesaria para llevar a cabo la microrred y la rentabilidad de la misma. Se pretende demostrar que es un proyecto económicamente factible y viable con el fin de impulsar el desarrollo de este tipo de infraestructuras en España.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 SISTEMA ELÉCTRICO EN ESPAÑA

En la actualidad el sistema de generación, transporte y distribución eléctrico en España está constituido de forma que su gestión se hace de forma centralizada y unidireccional. En 2019 España cuenta con una potencia instalada de 98394 MW en la península, distribuida según muestra la Figura 3.

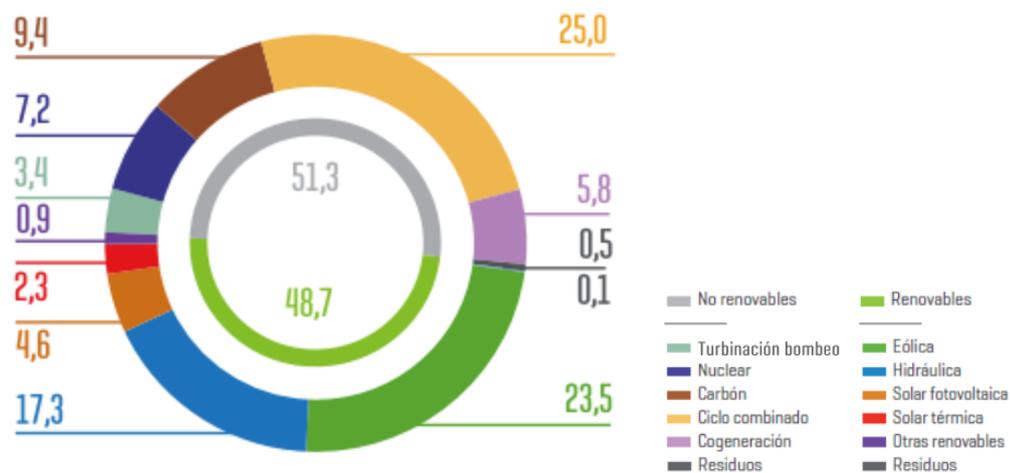


Figura 3. Potencia instalada peninsular. [4]

Esta energía eléctrica es transportada a través de una red mallada de transporte de alta tensión, entre 220 kV y 400 kV, que interconecta los centros de generación con los centros de distribución. Esta red de transporte de alta tensión está operada por Red Eléctrica Española (REE). Cuenta con más de 36000 km y está conectada con las redes de transporte de Francia, Portugal y Marruecos. El control de REE llega hasta los puntos de distribución, más cercanos al consumidor final. A partir de aquí son empresas privadas las que gestionan el transporte final de la electricidad, a media y baja tensión, que hacen llegar la electricidad a los grandes (industrias) y pequeños consumidores (hogares). Sin embargo, no son las empresas distribuidoras las que venden la energía a los consumidores finales, sino las empresas comercializadoras. La red de distribución en España cuenta con una intrincada malla de más de 600000 km.

Este sistema, tal y como está planteado en la actualidad, presenta una serie de problemas que lo hacen ser insostenible y dirigirse, en un periodo medio de tiempo, hacia la obsolescencia.

- Se trata de un sistema unidireccional donde la generación se gestiona de forma centralizada, tratando al consumidor final como un elemento pasivo del sistema. Esto acarrea problemas como la incomunicación entre generadores y consumidores o la lentitud a la hora de comunicar fallos en el sistema.

- La integración en la red de transporte de energías renovables es complicada y poco eficaz. Como se mencionó anteriormente, el mix energético depende en gran medida de las centrales de generación convencionales (gas, carbón, petróleo, nuclear, etc.).
- En el sistema convencional, el consumidor tiene poca libertad para elegir el tipo y la cantidad de energía que quiere consumir y por tanto el precio que está dispuesto a pagar por la misma.

2.2 MICRORREDES INTELIGENTES

Como alternativa a este sistema se están desarrollando y poniendo en marcha las conocidas como redes inteligentes o *'smart grids'* por su nombre en inglés. Según REE una red inteligente es aquella que puede integrar de forma eficiente el comportamiento y las acciones de todos los usuarios conectados a ella, de tal forma que se asegure un sistema energético sostenible y eficiente, con bajas pérdidas y altos niveles de calidad y seguridad de suministro.

La red futura estará totalmente automatizada con flujos de energía e información bidireccionales entre todos los consumidores y el sistema eléctrico.

Algunas de las características propias de las *smart grids* propuestas por la iniciativa *Grid Modern Initiative* en Estados Unidos son:

- Respuesta rápida y segura ante fallos en el suministro y ciberataques.
- Mayor calidad en la señal suministrada y mayor variedad de menús y precios.
- Facilidad de integración de generadores distribuidos ya que se espera que la cantidad de estos se multiplique.
- Mejor predicción de la demanda y mejor reparto de la misma a lo largo del día, de forma que se optimice la utilización y almacenamiento de energía.

En este proyecto el objeto de estudio será una forma de *smart grid* conocida como microrred inteligente. Una microrred opera en baja tensión y está compuesta por sistemas de generación distribuida; sistemas de almacenamiento de energía; cargas controlables; técnicas para la gestión de cargas; sistemas de monitorización y control del flujo de potencia; y técnicas y procedimientos de mantenimiento preventivo. Una microrred está conectada al resto del sistema, pero a su vez, está totalmente capacitada para trabajar de forma autónoma en modo isla.

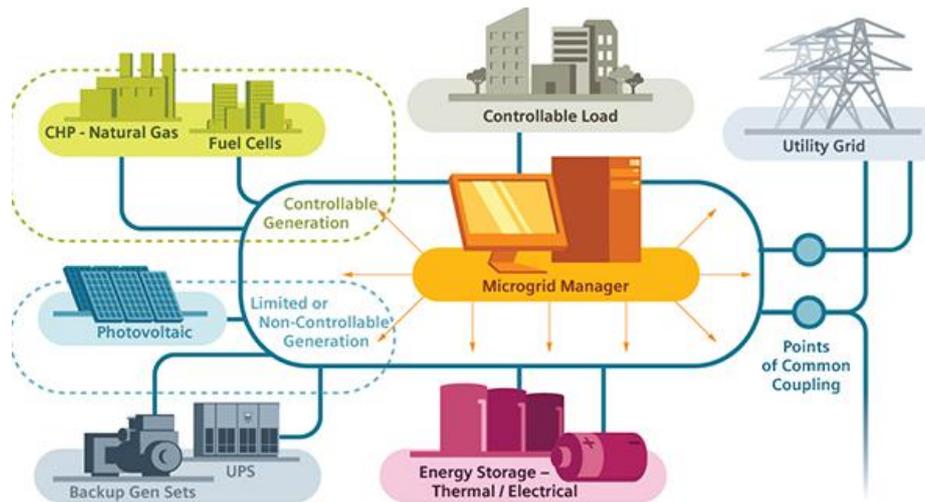


Figura 4. Esquema de microrred inteligente. [6]

2.3 EJEMPLOS DE MICRORREDES INTELIGENTES

2.3.1 MICRORRED EN LA ISLA DE LA GRACIOSA

Se trata de una microrred instalada en la isla de La Graciosa, perteneciente al archipiélago de las Islas Canarias. Esta isla es considerada reserva de la biosfera y por tanto pretende ser 100% sostenible, por lo que la microrred abarca toda la isla que tiene una superficie de 27 km² y 600 habitantes. Su clima soleado hace la isla un escenario perfecto para la generación fotovoltaica. Cuenta con una generación distribuida de paneles fotovoltaicos, una batería híbrida y un sistema de sensores que predicen el clima. Toda la gestión de la microrred se desarrolla desde un sistema de control ubicado en Lanzarote. Además, la isla cuenta con una conexión eléctrica con Lanzarote para casos de emergencia. Con esta microrred se consiguió un ahorro energético total en la isla de en torno al 35%. [7]



Figura 5. Paneles fotovoltaicos pertenecientes a la microrred de La Graciosa. [7]

2.3.2 KYOTO ECO-ENERGY PROJECT

Esta microrred se encuentra operativa en la ciudad de Kyotango, al norte de Kyoto. El sistema contará con 50 kW de instalaciones fotovoltaicas, 50 kW de eólica y debido a la baja gestionabilidad de estas energías también cuenta con una planta de producción de biogás que abastece un motor de 400 kW y pilas de combustible de 250 kW, además hay instaladas baterías recargables de 100 kW. El combustible principal para la planta son desechos alimentarios.[8]

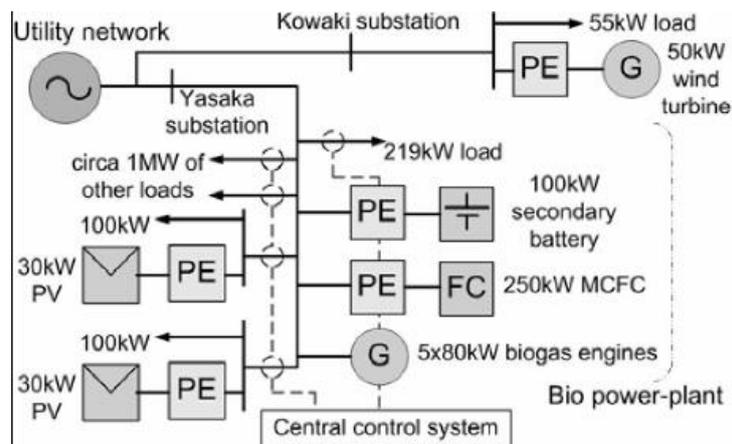


Figura 6. Esquema unifilar de la microrred. [8]

2.3.3 KYTHNOS MICROGRID

Situada en Gaidouromantra en la isla de Kythnos (Grecia) esta microrred suministra a un conjunto de 12 casas aisladas en un valle. El punto de conexión con el sistema de distribución eléctrico de la isla más cercano se encuentra a 4 km. La microrred está conectada a un centro de control situado en otra parte de la isla por dos cables en paralelo, uno de potencia y otro de telecomunicaciones usado para la gestión de la misma.

La microrred cuenta con una instalación fotovoltaica de 10 kW, un banco de baterías de 53 kW y un motor diésel de 5 kVA. Un segundo sistema de 2 kW, conectado a un banco de baterías de 32 kW a través de un inversor, abastece el centro de telecomunicaciones que gestiona la microrred. [8]

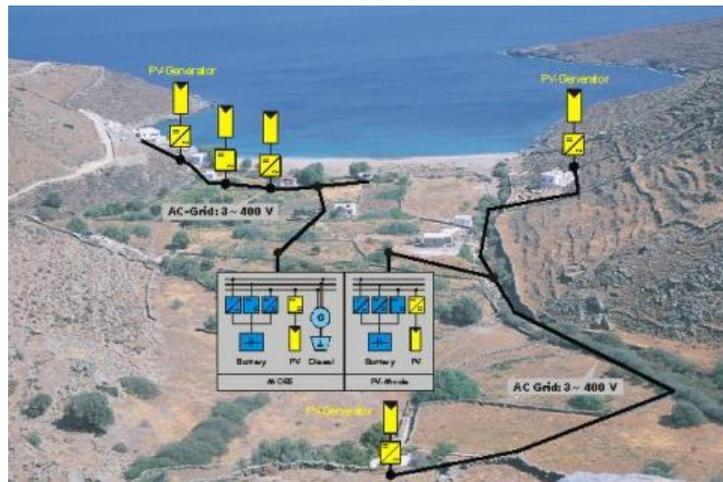


Figura 7. Microrred de Kythnos.

2.4 GASIFICACIÓN POR PLASMA

Formando parte de la microrred objeto de estudio en este proyecto, se integrará una central de generación de hidrógeno a partir de residuos biomásicos. Se utilizará el método de gasificación por plasma para la disociación de los residuos.

Tradicionalmente, en la mayoría de las centrales de aprovechamiento de recursos biomásicos se ha utilizado el método de la combustión o incineración como alternativa a los vertederos controlados y para extraer energía de forma eficiente. La incineración consiste en la transformación de los residuos en exceso de aire utilizando más oxidante que el estequiométrico con el objetivo de obtener una combustión completa. Este proceso se lleva a cabo en temperaturas entre 850°C y 1200°C. Las principales ONGs españolas (Greenpeace, Ecologistas en Acción y Amigos de la Tierra) consideran este proceso especialmente dañino para la atmósfera, aunque está muy utilizado en el resto de Europa.

Como alternativa, se propone en este proyecto, la solución de la gasificación de residuos por plasma. El plasma es un estado de la materia, gas ionizado a alta temperatura que se obtiene al hacer fluir un gas inerte a través de un campo eléctrico. A medida que se aplique calor a dicho gas, las moléculas se disociarán en átomos y las colisiones entre los mismos tendrán como consecuencia un desprendimiento de electrones dotándolos así de carga, generándose de esta manera un gas ionizado. Si se introduce material orgánico en una atmosfera de plasma se obtendrá hidrógeno como parte de los subproductos de este proceso, que podrá ser almacenado para su posterior transformación en energía eléctrica.

2.5 INSTALACIONES DE GASIFICACIÓN POR PLASMA EN FUNCIONAMIENTO

2.5.1 CHEONGSONG, COREA.

La planta de gasificación por plasma de residuos sólidos urbanos ubicada en la ciudad de Cheongsong, de 150.000 habitantes, fue puesta en marcha en el año 2008. LA planta cuenta con una antorcha de plasma de 2x200 kW y un conjunto de baterías de combustible capaces de suministrar hasta 50 kW.



Figura 8. Baterías de combustible en la planta de Cheongsong.



Figura 9. Planta de gasificación por plasma de Cheongsong.

2.5.2 MIHAMA-MIKATA, JAPAN.

La planta, ubicada entre las ciudades de Mihama y Mikata en Japón procesa 20 toneladas/día de residuos sólidos urbanos procedentes de ambas ciudades.

Además, procesa también 4 t/d de lodos procedentes del mismo proceso de gasificación, previamente secados usando el calor del gas de síntesis producido.

Tiene una potencia de 1.9 MW. [11] [12]



Figura 10. Planta de gasificación por plasma de Mihama-Mikata.

2.5.3 PUNE, INDIA.

La particularidad de esta planta reside en que el principal input que procesa son residuos peligrosos procedentes de 30 industrias de la zona, tiene una capacidad de hasta 72 toneladas diarias y una potencia de 6.3 MW. [13] [12]



Figura 11. Planta de gasificación por plasma de Pune.

3 SUMINISTRO ELÉCTRICO EN LINARES

3.1 INFORMACIÓN Y CLIMATOLOGÍA DE LINARES

La ciudad de Linares es la segunda más poblada de la provincia de Jaén con una población de 57.811 habitantes según el censo del INE en 2018.

La ciudad está situada entre la parte este de Sierra Morena y la depresión del Guadalquivir, los ríos Guadalimar y Guadial, ambos afluentes del Guadalquivir, delimitan su territorio. La orografía se caracteriza por ser suave, sin mucho desnivel, la ciudad se encuentra a 419 metros sobre el nivel del mar.

Tradicionalmente el principal motor económico de la ciudad ha sido el sector secundario en la actividad minera, ya que está situada en un enclave rico en yacimientos minerales. Dichos yacimientos se explotaron hasta finales del siglo XX. Desde entonces la actividad económica se ha centrado en el sector servicios teniendo también un gran peso la actividad agrícola, centrada en la producción de oleícola y de aceituna.



Figura 12. Foto satélite ciudad de Linares.

Linares tiene un clima mediterráneo continentalizado caracterizado por una gran amplitud térmica, siendo la temperatura media de 7,8 °C en el mes de enero y de 28°C en julio. La estación pluviométrica húmeda se da de octubre a mayo y la mojada de junio a septiembre. EL nivel de precipitación media anual es de 550 mm.



Figura 13. Horas de sol en Linares en el año 2018. [Elaboración propia]

Como se puede apreciar en la figura anterior Linares cuenta con un gran número de horas de sol a lo largo del año, lo que supone un escenario idóneo para la generación fotovoltaica.

3.2 CONSUMO Y MÁXIMOS DE DEMANDA

La empresa distribidora de energía en Jaén es Endesa. La red de distribución y transporte en la provincia de Jaén cuenta con los siguientes elementos.

	Jaén	Andalucía	% Provincia
Subestaciones 400 kV (nº)	1	23	4,3 %
Subestaciones 220 kV (nº)	2	60	3,3 %
Subestaciones distribución (AT)	38	412	9,2 %
Líneas 400 kV (km)	78	2.645	2,9 %
Líneas 220 kV (km)	204	3.325	6,1 %
Líneas distribución AT (km)	1.060	9.411	11,3 %
Líneas distribución MT (km)	6.687	50.799	13,2 %
Trafos 400/220 kV (MVA)	1.200	13.850	8,7 %
Trafos distribución (AT/AT) (MVA)	1.100	15.750	7%
Trafos distribución (AT/MT) (MVA)	1.655	17.545	9,4 %

Figura 14. Infraestructuras eléctricas de transporte y distribución en Jaén. [Agencia Andaluza de la Energía]

Ante la imposibilidad de obtener los datos de demanda por municipio, la demanda en la ciudad de Linares ha sido estimada a partir de los datos de demanda de la provincia de Jaén, haciendo una aproximación en base al peso demográfico de la ciudad en la provincia de Jaén.

$$\text{Factor de escala } (k) = \frac{\text{no. habitantes Linares}}{\text{no. habitantes Jaén (provincia)}} = \frac{57.800}{638.100} = 0.09$$

A continuación, se presenta el consumo eléctrico en Linares para dos días en épocas diferentes del año.

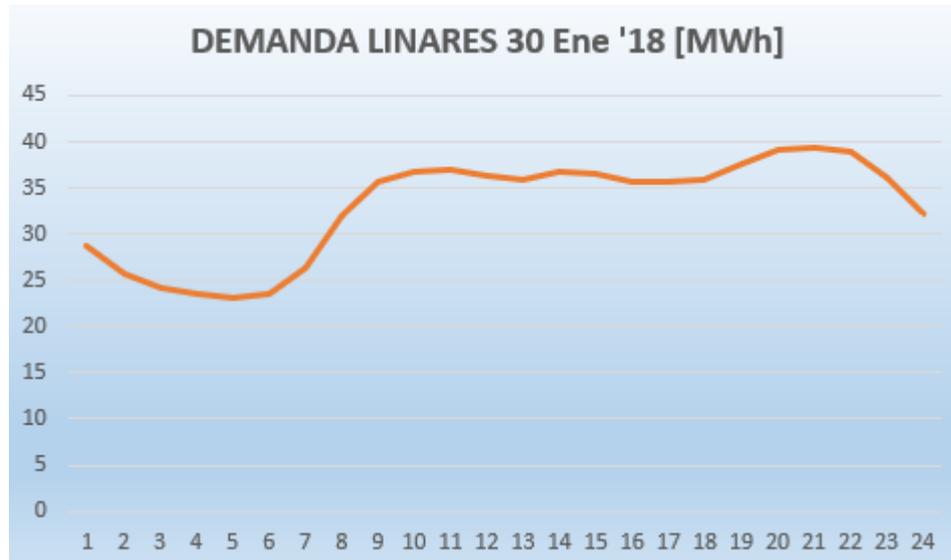


Figura 15. Consumo eléctrico en Linares (30 enero 2018) [Elaboración propia y REE]

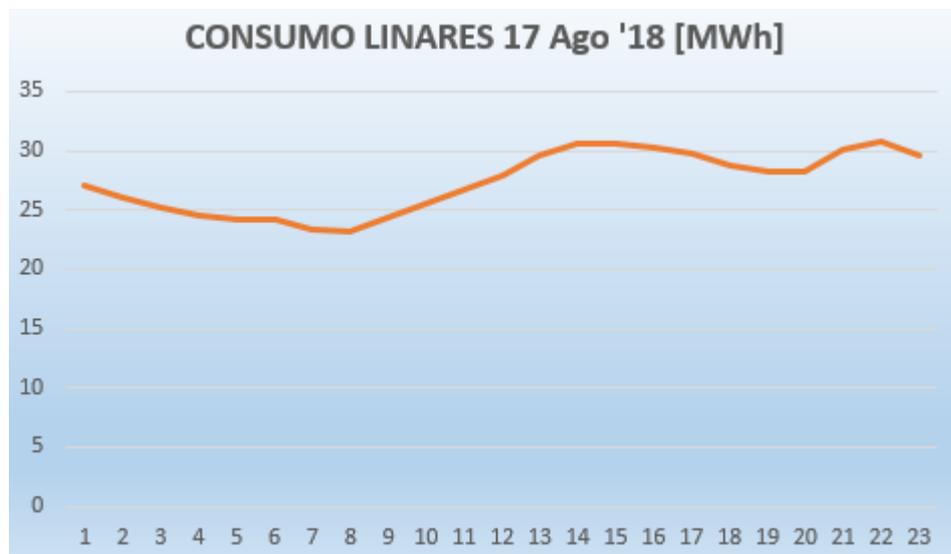


Figura 16. Consumo eléctrico en Linares (17 agosto 2018) [Elaboración propia y REE]

Como puede observarse el consumo de energía eléctrica es menor en verano que en invierno. Sin embargo, aun siendo la demanda menos fluctuante durante el día en verano la forma de la curva es razonablemente parecida.



Figura 18. Legenda ampliada del mapa de infraestructuras.

Se estudiarán a continuación en la zona de interés de la microrred las diferentes tecnologías de generación eléctrica existentes.

3.3.1 FOTOVOLTÁICA

En los alrededores de Linares existen numerosas instalaciones fotovoltaicas, todas ellas con una potencia inferior a 100 kW. Debido a lo repartida que se encuentra la potencia instalada de este tipo de energía y el pequeño tamaño de las plantas, no se tendrá en cuenta ninguna de ellas para la microrred. Los costes de instalación de las conexiones de estas con la microrred y las pérdidas en el transporte serían demasiado altos.

3.3.2 BIOMASA

Prueba del potencial de la biomasa en esta zona, es el elevado porcentaje de energía eléctrica a partir de biomasa presente en el mix energético renovable. En los alrededores de la ciudad de Linares existen tres plantas de generación eléctrica con biomasa según el informe de la Agencia de Andalucía de la Energía de 2018. El alperujo, un subproducto de la producción de aceite, la biomasa forestal y los pellets son los principales combustibles utilizados en estas plantas.

Central	Potencia (MW)	Localización	Distancia a Linares (km)
Bioenergética de Linares	15	Linares	6
La Loma	16	Villanueva del Arzobispo	54
Aldebarán Energía del Guadalquivir	6	Andújar	37
TOTAL (MW)	37		

Tabla 1. Centrales de biomasa cercanas a Linares

La potencia instalada de plantas de combustible biomásico es muy pequeña comparado con la instalada de hidroeléctrica, por ello no se tendrá en cuenta para el diseño de la microrred.

3.3.3 EÓLICA

Según el informe de la Agencia Andaluza de la Energía del año 2018, únicamente existe un parque eólico en la provincia de Jaén, este está situado en Noalejo, al sur de la provincia, está constituido por un total de 23 turbinas eólicas de 660 kW de potencia.

Central	Potencia (MW)	Localización	Distancia a Linares (km)
Sierra del Trigo	15.18	Noalejo	63

Tabla 2. Centrales eólicas cercanas a Linares.

La potencia instalada de energía eólica es muy pequeña comparada con la hidroeléctrica, por ello no se tendrá en cuenta para el diseño de la microrred.

3.3.4 HIDROELÉCTRICA

Constituye una gran parte de la potencia instalada que se utilizará en la microrred. Lo ideal es que las tecnologías de generación que forman la microrred estén comprendidas en un territorio de unos 50 km. alrededor de Linares. Sin embargo, la presencia de la Sierra de Cazorla, un terreno con una orografía ideal para la producción de energía hidroeléctrica hace necesario ampliar este radio a 100 km. Todas las centrales que se consideran para formar parte de la microrred están dentro del radio de 50 km, excepto la de Miller y la del Tranco de Beas, situadas en la Sierra de Cazorla.

Según el informe de la Agencia Andaluza de la Energía de 2018, son 23 las centrales situadas en el rango de acción de la microrred en Linares, no obstante, únicamente se han escogido aquellas con una potencia mayor a 1MW para simplificar la microrred.

Central	Potencia (MW)	Localización	Distancia a Linares (km)
Jándula	15	Presa de Jándula (Andújar)	39
Encinarejo	8.32	Presa de Jándula (Andújar)	39
Valtodano	3.15	Rio Guadalquivir (Andújar)	32
Pedro Marín	13.2	Presa Pedro Marín (Baeza)	18
El Rumblar	2.5	Rio Rumblar (Baños de la Encina)	35
La Fernandina	5	Embalse de La Ferdandina (Carboneros)	14
Puente de la Cerrada	7.52	Embalse Puente de la Cerrada (Cazorla)	42
Guadalmena	15.2	Rio Guadalmena (Chiclana de Segura)	41
Salto de San Rafael	3.2	Rio Guadalquivir (Espeluy)	21
CH Giribaile	20	Pantano del Giribaile (Ibros)	15
Arquillos	1.44	Pantano de Arquillos (Ibros)	21
Marmolejo	16.96	Rio Guadalquivir (Marmolejo)	46
Salto del Yeguas	4.9	Embalse del Yeguas (Marmolejo)	50
Mengíbar	4.2	Rio Guadalquivir (Jabalquinto)	17
Olvera	2.39	Rio Guadalimar (Navas de San Juan)	30
Los Órganos	1.92	Rio Borosa (Santiago-Pontones)	85
Miller	27	Embalse de la Vieja (Santiago-Pontones)	99
Doña Aldonza	10.4	Embalse de Doña Aldonza (Úbeda)	35
Racioneros	2.4	Rio Guadalquivir (Puente del Obispo)	19
Guadalén	5.12	Embalse de Guadalén (Vilches)	16
Salto del Molino de Guadalén	2.56	Embalse de Guadalén (Vilches)	16
Tranco de Beas	39.8	Embalse del Tranco (Hornos)	75
TOTAL (MW)	212.18		

Tabla 3. Centrales hidroeléctricas cerca de Linares

Debido a la disparidad en el funcionamiento de las centrales hidroeléctricas se asumirá que se encuentran generando energía con un factor de carga del 50% de forma constante durante todo el año. Por tanto:

$$E_{HIDROELÉCTRICA} = 212.18 \text{ MW} \frac{8760}{2} \text{ h} = 929.34 \frac{\text{GWh}}{\text{año}}$$

$$E_{HIDROELÉCTRICA_{DIA}} = \frac{929.34}{365} = 2546.13 \frac{\text{MWh}}{\text{día}}$$

4 RECURSOS BIOMÁSICOS EN LINARES

4.1 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Según la ley de Residuos, los RSU son los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza puedan asimilarse a los producidos en las anteriores actividades o lugares.

Según el portal profesional de medio ambiente Ambientum, la composición usual de los residuos sólidos urbanos en España es la siguiente:

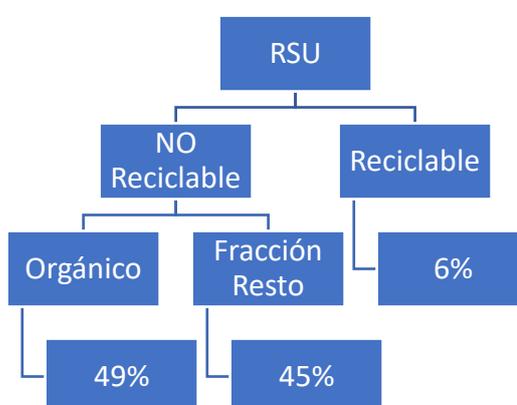


Figura 19. Composición de los RSU en España. [Elaboración propia]

Como se puede observar en la siguiente figura, en el año 2017 en España la cantidad de RSU total generada fue de 21.530.000 toneladas.

	2015	2016	2017
European Union - 28 countries	244,594 ⁽⁵⁾	248,263 ⁽⁵⁾	248,653 ⁽⁵⁾
European Union - 27 countries	242,940 ⁽⁵⁾	246,583 ⁽⁵⁾	246,937 ⁽⁵⁾
Belgium	4,643	4,746	4,659
Bulgaria	3,011	2,881	3,080
Czechia	3,337	3,580	3,643
Denmark	4,485	4,484	4,503
Germany (until 1990 former GDR)	51,625	52,133	52,342 ⁽⁶⁾
Estonia	473	494	514
Ireland	:	2,763	:
Greece	5,277	5,367	5,415
Spain	21,158	21,542	21,530 ⁽⁶⁾
France	34,284	34,339 ⁽⁶⁾	34,393 ⁽⁶⁾
Croatia	1,654	1,680	1,716
Italy	29,524	30,112	29,583
Cyprus	541	545 ⁽⁶⁾	547 ⁽⁶⁾
Latvia	798	802	851

Figura 20. Tabla de RSU generados por país en miles de toneladas. [3]

Teniendo en cuenta que en 2017 la población en España alcanzó los 46,57 millones de habitantes, la generación media de RSU por habitante y por año es de 500 kg aproximadamente.

En la ciudad de Linares, que como se mencionó anteriormente cuenta con 57.811 habitantes, se generan por tanto 28390 toneladas de RSU anuales. En el proceso de gasificación se utilizará la fracción resto de los RSU. Según se menciona anteriormente esta comprende un 45% de los residuos sólidos urbanos. En conclusión, la planta de gasificación contará con un aporte de **12.775 toneladas anuales de residuos procedentes de Linares.**

4.2 RESIDUOS AGRÍCOLAS

La zona de Linares es un enclave de especial interés en términos de residuos biomásicos procedentes del sector agrícola. Jaén es la provincia andaluza con mayor número de olivos en su superficie, cuenta con un total de 586.173 hectáreas de olivar, de las cuales 585.715 están destinadas a la producción oleícola [20]. Los residuos procedentes del proceso de producción de aceite son muy interesantes desde un punto de vista de aprovechamiento energético. A continuación, se explica de forma breve en que consiste este proceso y la eficiencia energética de sus residuos.

4.2.1 LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE OLIVA

El tratamiento comienza con la recolección de la aceituna, que se lleva a cabo entre los meses de noviembre y enero. Después, se procede a la separación de las hojas y el posterior lavado de la aceituna. El proceso de separación se puede llevar a cabo en la propia finca donde la aceituna ha sido recogida o en una vez en la fábrica. Sin embargo, el proceso de lavado se realiza una vez en fábrica.

A continuación, se da paso a la fase de molienda. Es importante la presión con la que se muele la aceituna ya que se pretende conseguir una pasta con una granulometría determinada y la temperatura a lo largo del proceso, para optimizar la extracción del aceite. Poca presión supondría no llegar a liberar el aceite almacenado en las células que componen el fruto. Por otra parte, con demasiada presión se obtendría una pasta homogénea cuya posterior separación sería más complicada.

La pasta obtenida en el anterior proceso es sometida a un centrifugado vertical, que permitirá, gracias a las diferentes densidades de los componentes de esta, una separación del aceite y el alperujo, dando nombre al proceso de extracción de dos fases.



Figura 21. Fases del proceso de elaboración del aceite de oliva. [20]

4.2.2 PRODUCCIÓN DE ALPERUJO EN LA ZONA DE LINARES

Según el Aforo de Producción de Aceituna en Almazara en Andalucía 2018-2019 de la Junta de Andalucía se recogieron en la provincia de Jaén 3.162.511 toneladas de aceituna para almazara. Sabiendo que en la provincia hay unas 200 fábricas de aceite incluyendo las cooperativas, se puede deducir que cada fábrica puede molturar anualmente una media de 15800 toneladas de aceituna.

A partir de información proporcionada por la Federación Española de Industriales Fabricantes de Aceite de Oliva se ha elaborado una lista que recoge las fábricas de aceite que se encuentran en un radio de 50 km de Linares incluyendo las cooperativas. Esta lista se puede encontrar en el Anexo A. Han sido seleccionadas un total de 83 cooperativas y 58 almazaras.

Conociendo la producción media de una fábrica en la provincia de Jaén, se infiere que las 141 fábricas cercanas a Linares molturan una media de 2.227.800 t de aceituna al año.

Además, se sabe que el 21% de la aceituna se transformará en aceite, el 70% en alperujo y el 9% restante en otros desechos.

Para concluir, la planta recibirá **anualmente 1.559.460 toneladas de alperujo**. Es preciso mencionar que las fábricas de aceite se encuentran en funcionamiento entre los meses de noviembre y marzo, por lo que el alperujo llegará a la planta durante este periodo. Sin embargo, es posible su almacenamiento, por lo que se podrá consumir como sea conveniente a lo largo del año.

4.3 RESIDUOS FORESTALES

Cada año, se lleva a cabo la eliminación de las conocidas como ‘varetas’ o ‘pestugas’ del olivo. Estas son pequeñas ramas que crecen al pie del olivo, si se dejan crecer

restaran fuerza al árbol y reducirá la producción de las demás ramas. Conviene eliminarlas entre final de agosto y septiembre, ya que durante el verano cumplen la función de dar sombra al tronco del olivo para protegerlo del sol.

Para el diseño de la planta sólo se tendrá en cuenta la biomasa forestal procedente del olivo, ya que es el cultivo más abundante en esta región. La biomasa obtenida del resto de cultivos no es representativa.

Según el mapa de potencial biomasa en Andalucía elaborado por la Consejería de Hacienda, Industria y Energía de la Junta de Andalucía, la biomasa forestal potencial en la zona de Linares no supera las 500 toneladas anuales por lo que no se tendrán en cuenta para el diseño de la planta ya que es una cifra muy inferior frente al resto de fuentes de biomasa. Además, su disponibilidad durante el año es muy reducida.

4.4 RESIDUOS BIOMÁSICOS FINALES EN LA PLANTA

Se recibirán en la planta, como se menciona anteriormente, 12.775 toneladas anuales de residuos sólidos urbanos procedentes de Linares, lo que se traduce en 35 toneladas diarias. Por otra parte, se cuenta con 1.559.460 toneladas de alperujo anuales que llegarán a la planta distribuidas entre los meses de noviembre y marzo. Se dará prioridad de uso a los residuos sólidos urbanos ya que el alperujo es más fácilmente almacenable.

5 GASIFICACIÓN POR PLASMA DE LA BIOMASA.

5.1 INTRODUCCIÓN.

De la aleatoriedad y la discontinuidad de generación de las tecnologías hidroeléctrica y eólica nace la necesidad de implantar un tipo de energía gestionable y renovable para complementar la microrred, que se adapte vertiginosamente a los desajustes entre generación y demanda cuando sea requerido.

Además, el rápido crecimiento demográfico, la concentración de población en núcleos urbanos, la utilización de bienes materiales de rápido deterioro y el uso generalizado de envases no reciclables fabricados con materiales no biodegradables han sido el detonante de una problemática global con la cantidad de residuos producidos por el ser humano. Es por eso por lo que se hace necesario el diseño de un sistema para tratar de eliminar estos residuos de la forma más respetuosa posible con el medio ambiente y eficiente.

5.2 MÉTODOS MÁS USADOS PARA LA ELIMINACIÓN DE RESIDUOS

En la actualidad, los métodos de tratamiento de residuos más utilizados son los siguientes.

5.2.1 INCINERACIÓN

La incineración consiste en la oxidación de los materiales combustibles que se encuentran dentro de los residuos. Obteniéndose como resultados materiales inertes (cenizas) y gases (CO_2 principalmente). Durante el proceso se desprende una gran cantidad de calor aprovechable tanto para la generación de energía térmica como eléctrica.

Los residuos, previamente depositados en los fosos de almacenamiento, pasan al horno. Aquí tienen lugar varias etapas. Primero, la fase de secado, en la que la humedad del residuo se elimina gracias al aire precalentado. En la siguiente fase, la de volatilización, el residuo sufre una descomposición térmica. En este punto, la temperatura de la caldera (750 – 1000 °C) es suficiente para que los compuestos volátiles se quemen ya que su temperatura de ignición es mucho menor. Es muy importante que la temperatura de la caldera se mantenga en los niveles adecuados, si fuera inferior daría lugar a la formación de furanos y dioxinas, sustancias muy tóxicas. A continuación, se produce la combustión de los residuos sólidos carbonosos restantes. [14] [16]

5.2.2 VERTEDERO CONTROLADO

Un vertedero controlado es una instalación destinada al almacenamiento de residuos por un tiempo indefinido de acuerdo con una tecnología y una normativa específicas, en condiciones de total salubridad y seguridad para el medio ambiente. Conforme se depositan los residuos en el vertedero se van formando celdas de residuos compactados, estas celdas se separan mediante una cobertura de seguridad. Cuando se

llena el vertedero se instala una cobertura final. Entre los residuos y el suelo se instala una cobertura aislante y un sistema de colección de lixiviados. Los lixiviados son líquidos que emanan de los residuos en el vertedero. [12]

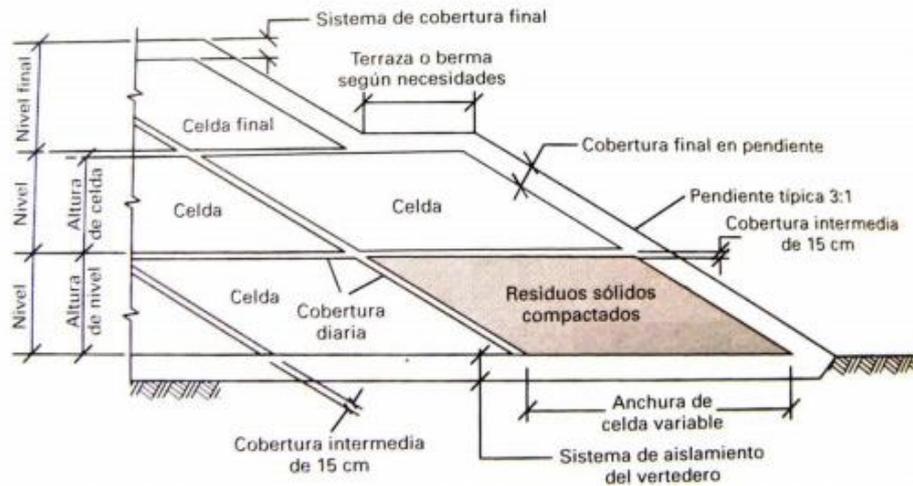


Figura 22. Celdas y niveles en un vertedero controlado. [12]

Debido a la descomposición anaerobia de los residuos se produce una acumulación de gases, principalmente dióxido de carbono y metano. En la mayoría de los casos, estos gases serán aprovechados posteriormente para la generación energética.

La gasificación por plasma, el método de eliminación de residuos elegido en este proyecto, presenta claras ventajas sobre los métodos mencionados anteriormente.

- No es necesaria la clasificación previa de los residuos, lo que agiliza y facilita el funcionamiento de la planta. Como se explicará más adelante, con este método se pueden tratar residuos tóxicos y peligrosos sin poner en riesgo la seguridad del medio ambiente ni la de las personas.
- Otra ventaja, reside en la disponibilidad de la energía extraída de los residuos. Se ha mencionado ya que, tanto los vertederos controlados como las plantas incineradoras, son potenciales fuentes de energía. Sin embargo, los generadores conectados a los mismos tardan en ponerse en marcha. La energía no se obtiene de forma inmediata.
- Sólo es necesaria una pequeña cantidad de oxidante para generar el gas de síntesis. Por tanto, el volumen del gas producido es mucho menor que en otros procesos de combustión y por tanto más barato y fácil de manejar.

5.3 FUNDAMENTOS DE LA GASIFICACIÓN POR PLASMA.

5.3.1 EL PLASMA

El plasma es un gas ionizado a alta temperatura. Se considera un estado de la materia. La diferencia entre los estados de la materia está marcada por el equilibrio entre la energía cinética de sus partículas y la energía de los enlaces que las mantiene unidas. Al aumentar la temperatura, la energía cinética de las partículas aumenta rompiendo así ciertos enlaces y dando paso al siguiente estado de la materia. En el caso de un gas, esto no ocurre así. Al aumentar la temperatura y en presencia de un campo eléctrico, la ruptura de enlaces se producirá a nivel molecular, las moléculas se disociarán en átomos. A cierta temperatura las colisiones entre átomos provocarán el desprendimiento de electrones, originando así una reacción en cadena en la que cada choque dará lugar a dos nuevos electrones y un nuevo átomo ionizado. [13]

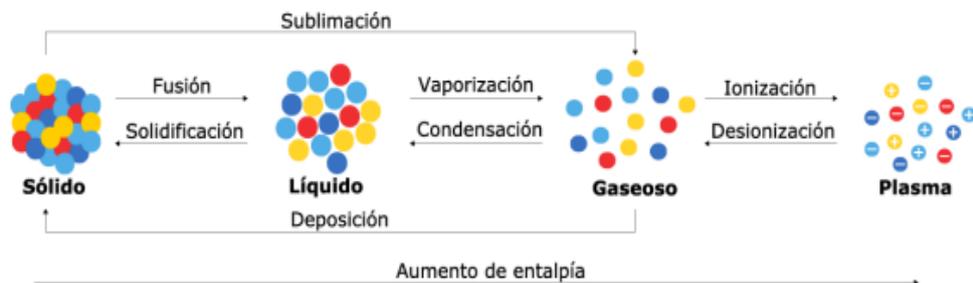


Figura 23. Estados de la materia y sus relaciones. [13]

5.3.2 ETAPAS DEL PROCESO

En la siguiente figura se muestra el esquema de una planta de gasificación por plasma estándar de la compañía AlterNRG, puntera en este sector.

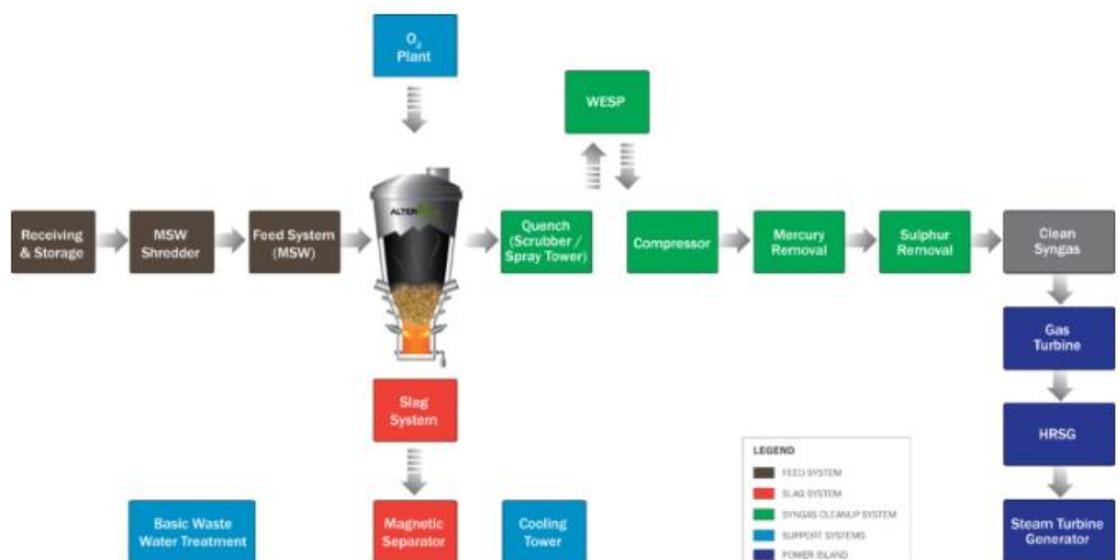


Figura 24. Diagrama de planta de gasificación por plasma de RSU. [14]

El proceso de tratado de los RSU para convertirlos en gas de síntesis cuenta con varias etapas.

Al llegar a la planta los RSU son acopiados en fosos de almacenamiento. Antes de ser alimentados al reactor de gasificación por plasma, pasan por una serie de tratamientos. Se lleva a cabo una labor de separación para apartar aquellos materiales de bajo poder calorífico que no interesan en el proceso de gasificación, por ejemplo, los metales. Los RSU pasan a ser triturados y compactados para disminuir así su densidad y de esta manera evitar atascos y facilitar su manejo en el resto del proceso. Además, el pretratado de los RSU también puede incluir la reducción de la humedad ya que está demostrado que el exceso de esta afecta negativamente a la eficiencia del proceso.

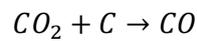
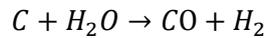
Los RSU tratados se alimentan al reactor medio de unas transportadoras junto con material fundente y choque. Comúnmente, el material fundente es piedra caliza molida y su objetivo es promover el adecuado flujo de escoria dentro del gasificador. El coque se utiliza para aportar consistencia a la materia en el fondo del reactor.



Figura 25. Reactor de gasificación por plasma.

Una vez en el reactor, se produce una reacción espontánea por la cual se disocian las moléculas de los RSU. Esta reacción consume la mitad de oxígeno que una de combustión. El ambiente ionizado es creado por unas antorchas de plasma que cuentan con dos electrodos, se aplica una diferencia de potencial entre ambos, lo cual genera un arco eléctrico. Entre los electrodos se hace fluir un gas inerte, comúnmente aire (el más barato), como medio para la formación del plasma. La principal diferencia con la gasificación por no-plasma es la alta temperatura que se alcanza en el reactor, llegando a ser de unos 4500°C, se consigue por tanto una completa destrucción de los materiales tóxicos como alquitranes y dioxinas.

Se obtiene así un gas de síntesis rico en monóxido de carbono e hidrógeno a partir de los compuestos orgánicos de los RSU. Este gas abandonará el reactor por la parte superior a unos 1000°C. Las reacciones más importantes que tienen lugar en este proceso son:



Por otra parte, los compuestos inorgánicos de los RSU son reducidos a un material vitrificado inerte que es recogido en el fondo del reactor. Aquí reside uno de los mayores beneficios de la tecnología de gasificación por plasma. Reduce cualquier tipo de residuo, excepto los radioactivos, a elementos químicos inocuos que se precipitan al fondo del reactor donde se mezclan con el material fundente y el choque para formar un material vitrificado. Este material puede ser utilizado en otras actividades, uno de sus usos más comunes es como agregado en materiales de construcción. [15] [16]

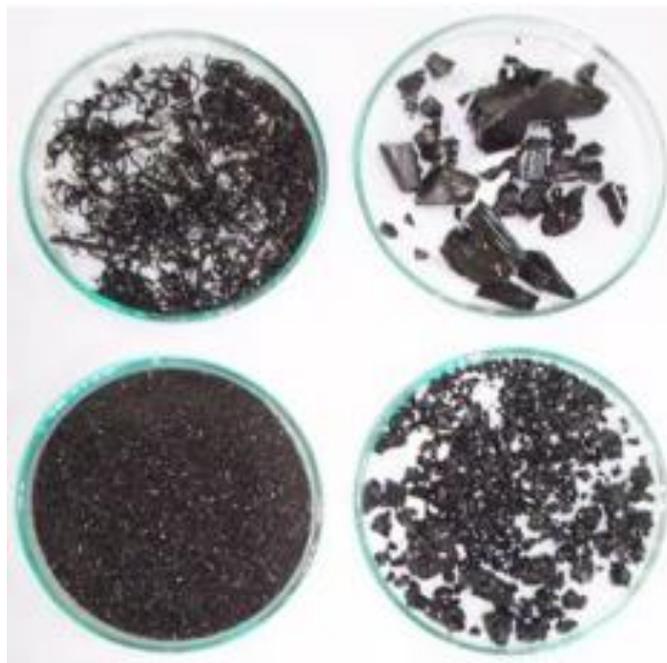


Figura 26. Material vitrificado. [20]

A la salida del reactor es necesario disminuir la temperatura del gas de síntesis para que no produzca daños en los equipos y sea más fácil de manejar. Su alta temperatura es aprovechada en un ciclo Rankine de recuperación de calor. Con la energía obtenida del mismo se abastecerán el alto consumo energético de la antorcha de plasma en el reactor. Es importante que el gas se mantenga por encima de su temperatura de saturación tras el proceso de recuperación de calor.

A continuación, se lleva a cabo un proceso de eliminación de partículas contaminantes, esto se puede conseguir a través de diferentes métodos, los más comunes son la utilización de filtros, de un ciclón o de un precipitador electrostático húmedo (WESP).

Seguidamente se procede a la neutralización del gas eliminando los ácidos presentes en él, HCl(g) por ejemplo. Para ello se instalan un sistema de quench y scrubbing en serie. El papel del quench es enfriar el gas a 30°C con una solución de NaOH al 40%. Aunque muchos de los gases ácidos son eliminados en el sistema de quench, los restantes son eliminados en el sistema de scrubbing. En este último proceso la solución es recirculada para mantener un pH de 9 mediante la adición de soluciones alcalinas. Se obtiene al final un gas de síntesis limpio a una temperatura de unos 30 °C. [20]

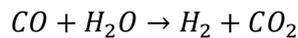
5.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL GAS DE SÍNTESIS

Tras la etapa de neutralización se obtiene gas de síntesis a 30°C y con la siguiente composición química:

GAS DE SÍNTESIS LIMPIO	
%CO	77,6
%CO ₂	6,67
%H ₂	4,46
%N ₂	7,11
%H ₂ S	0
%Ar	1,22
%H ₂ O	2,93
%CH ₄	0,01

Tabla 4. Composición química del gas de síntesis limpio.[21]

La concentración de hidrógeno en el gas de síntesis tras la etapa de neutralización sigue siendo baja y además existe dióxido de carbono que debe ser capturado. Para remediarlo, se lleva a cabo una reacción shift que incrementará la concentración de hidrógeno haciéndolo reaccionar con agua. [17]. Toma la siguiente forma:



Es preciso mencionar, que la composición del gas de síntesis experimenta variaciones muy pequeñas según la composición de los residuos. Por tanto, no es preciso hacer una separación exhaustiva en la entrada de la planta ni un análisis químico minucioso de los residuos a la entrada. Únicamente es de interés conocer que los residuos que alimenten la planta tengan un alto contenido de materia orgánica. En este caso, los RSU cuentan con un 49% de materia orgánica aproximadamente y el alperujo con un 41,3%. [19]

6 PLANTA DE GASIFICACIÓN POR PLASMA

6.1 DIMENSIONAMIENTO

La planta será dimensionada para un caudal de 131 toneladas diarias de residuos biomásicos. Una vez secados para reducir su humedad se introducirá en el reactor un gasto másico de 110,5 t/día. Por ello, se elige el modelo de vasija de plasma de capacidad 125 t/día de la empresa Materiales Renovados.

La composición química de los sólidos urbanos que se utilizarán en el proceso, antes de la etapa de secado, es la siguiente:

RESIDUOS SOLIDOS URBANOS (FRACCIÓN RESTO)	
%C	34,44
%H	4,31
%O	20,80
%N	0,5
%S	0,07
%Cl	0,00
%INORG	19,88
%HUMEDAD	20

Tabla 5. Composición química de la fracción resto de los RSU.

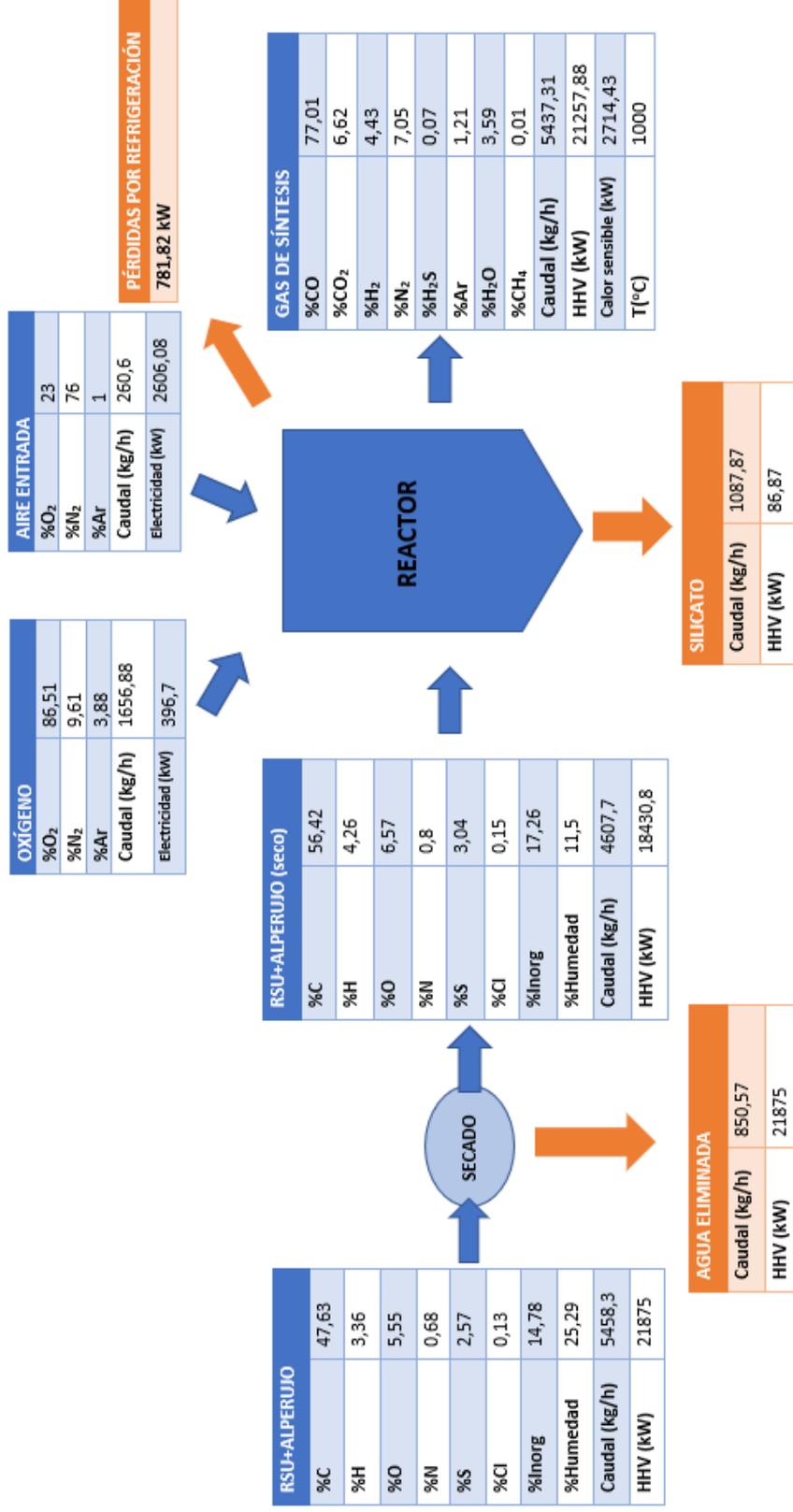
La composición química del alperujo que se utilizará en el proceso, antes de la etapa de secado, es la siguiente:

ALPERUJO	
%C	52,44
%H	3,02
%O	0,00
%N	0,76
%S	3,49
%Cl	0,19
%INORG	12,87
%HUMEDAD	27,23

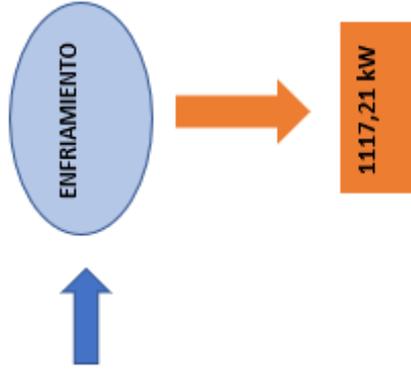
Tabla 6. Composición química del alperujo.

6.2 BALANCE ENERGÉTICO

A continuación, se detalla el balance energético y másico de la planta en dos partes, la primera muestra el proceso de secado de residuos, la alimentación al reactor, y la transformación en el reactor a gas de síntesis. La segunda, muestra el proceso de enfriado y lavado del gas de síntesis.

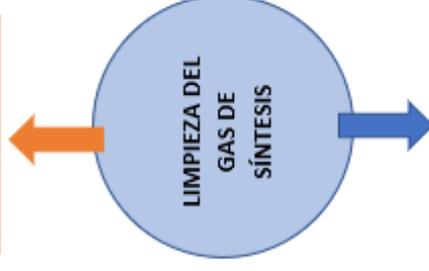


GAS DE SÍNTESIS	
%CO	77,01
%CO ₂	6,62
%H ₂	4,43
%N ₂	7,05
%H ₂ S	0,07
%Ar	1,21
%H ₂ O	3,59
%CH ₄	0,01
Caudal (kg/h)	5437,31
HHV (kW)	21257,88
Calor sensible (kW)	2714,43
T(°C)	1000



GAS DE SÍNTESIS ENFRIADO	
%CO	77,01
%CO ₂	6,62
%H ₂	4,43
%N ₂	7,05
%H ₂ S	0,07
%Ar	1,21
%H ₂ O	3,59
%CH ₄	0,01
Caudal (kg/h)	5437,31
HHV (kW)	21257,88
Calor sensible (kW)	2714,43
T(°C)	600

PÉRDIDAS CALOR
1597,24 kW



GAS DE SÍNTESIS LIMPIO	
%CO	77,6
%CO ₂	6,67
%H ₂	4,46
%N ₂	7,11
%H ₂ S	0
%Ar	1,22
%H ₂ O	2,93
%CH ₄	0,01
Caudal (kg/h)	5437,31
HHV (kW)	21257,88
Calor sensible (kW)	0,00
T(°C)	27

6.3 CICLO RANKINE DE RECUPERACIÓN DE CALOR

Al abandonar el reactor de gasificación, el gas de síntesis se enfría desde 1000°C hasta 600°C, liberando 1117,21 kW. Se pretende aprovechar este calor cedido por el gas mediante un ciclo Rankine.

Este proceso cumple dos funciones. La primera el aprovechamiento del calor cedido por el gas de síntesis mediante una turbina por la cual se obtendrá energía eléctrica con la que se alimentarán las antorchas de plasma. Y la segunda, la utilización del calor intercambiado en el condensador del ciclo Rankine para disminuir la humedad de los residuos a la entrada del reactor, del 25,29% al 11,5% para aumentar la eficacia del proceso de gasificación.

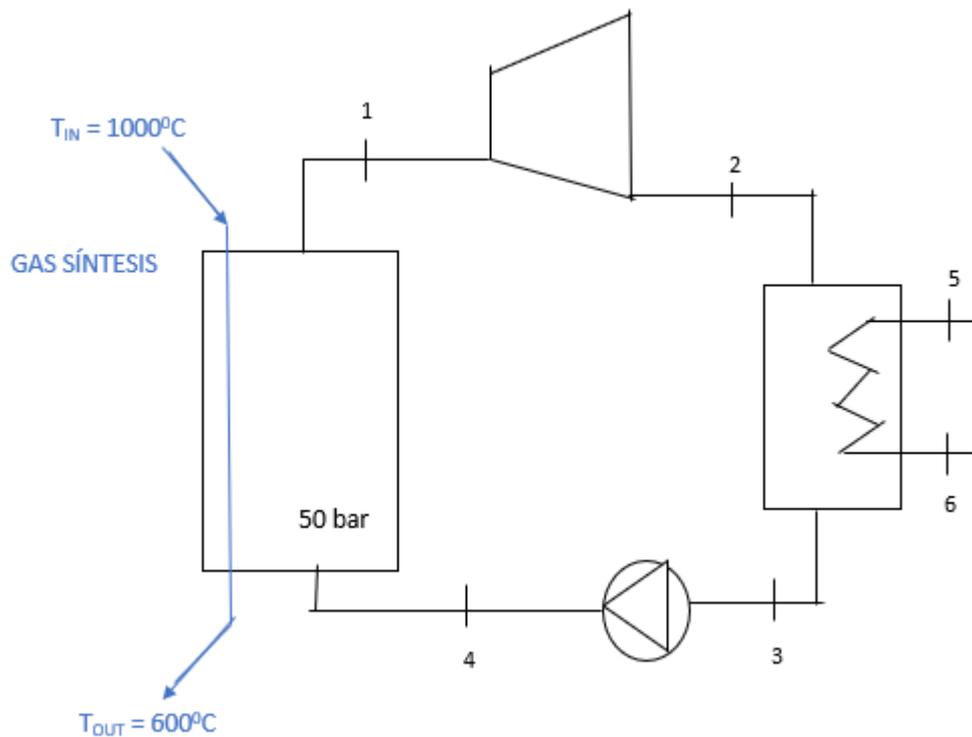


Figura 27. Esquema ciclo Rankine. [Elaboración propia]

Se describe a continuación el funcionamiento de cada uno de los elementos del ciclo Rankine.

Los procesos termodinámicos en cada elemento del ciclo estarán regidos por el principio de conservación de la energía.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{OUT} h_{OUT} - \sum \dot{m}_{IN} h_{IN}$$

En la **caldera** tiene lugar un intercambio de calor a presión constante de 50 bar entre el gas de síntesis y el agua que circula por el ciclo. Ambos fluidos circulan por circuitos diferentes. El gas de síntesis disminuye su temperatura de 1000°C a 600°C cediendo un calor Q_{cedido} absorbido por el agua. El agua se considera que sale de la caldera a una temperatura de 600°C.

Suponiendo una eficiencia del 90% el calor cedido real es:

$$Q_{cedidoreal} = 0,90Q_{cedido} = 0,9 * 1117,21 = 1005,5 \text{ kW}$$

Una vez en la **turbina**, el vapor sobrecalentado experimenta una expansión isentrópica hasta disminuir su temperatura a 41,51°C. Conociendo la diferencia de entalpías a la entrada y salida de la turbina podemos saber el trabajo de la misma. Aceptando también que tiene un rendimiento mecánico del 90%.

$$W_{turbina} = \eta_{turbina} \dot{m}(h_2 - h_1) = 0,9 * 0,22 * (3666,8 - 2576,24) = 215,93 \text{ kW}$$

Esta potencia generada con la turbina será realimentada a la planta para suministrar energía a la antorcha de plasma y a la bomba del ciclo Rankine.

Tras ser turbinado, el vapor de agua pasa por un **condensador** donde se le extraerá suficiente calor para que pase de vapor saturado a líquido saturado. Además, el calor extraído en este proceso se utilizará para seca los residuos entrantes en la planta.

$$Q = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0,22(2576,24 - 173,852) = 528,52 \text{ kW}$$

Considerando un rendimiento del 90% en el proceso de transferencia de calor:

$$Q_{secado} = 0,9 * 528,52 = 475,67 \text{ kW}$$

En la **bomba** se aumenta la presión del agua hasta la presión de trabajo de la caldera (50 bar). La potencia requerida para su accionamiento será extraída de la turbina. Se considera un rendimiento mecánico del 90% en la bomba:

$$W = \frac{\dot{m}(h_4 - h_3)}{\eta} = \frac{0,22(178,87 - 173,852)}{0,9} = 1,22 \text{ kW}$$

A continuación, se incluye una tabla con las propiedades del agua en los puntos más importantes del ciclo.

PUNTO	TEMPERATURA (°C)	PRESIÓN (bar)	ENTALPÍA (kJ/kg)
1	600	50	3666,8
2	41,51	0,08	2576,24
3	41,51	0,08	173,852
4	41,625	50	178,87

Tabla 7. Puntos de interés en el ciclo Rankine. [Elaboración propia]

El **rendimiento del ciclo** puede calcularse conociendo el W_{NETO} y el Q_{cedido} .

$$\eta_{ciclo} = \frac{W_{turbina} - W_{bomba}}{Q_{cedido}} = \frac{215,93 - 1,22}{1005,5} = 21,35\%$$

6.4 CALOR CEDIDO POR EL CONDENSADOR PARA SECADO DE RESIDUOS

Como se menciona anteriormente, el intercambio de calor producido en el condensador se aprovechará para reducir la humedad de los residuos a la entrada de la planta desde el 25,29% hasta un 11,5%. El proceso se puede modelar según la siguiente ecuación:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{vapor} L_{agua}$$

Dónde:

\dot{m}_{vapor} = gasto másico de la humedad presente en el agua

L_{agua} = calor latente del agua (2255 KJ/kg)

$$\dot{m}_{vapor} = (0,2529 - 0,115) * 5458,3 = 752 \text{ kg/h}$$

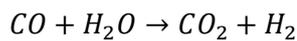
$$\dot{Q} = \dot{m}_{vapor} L_{agua} = 752 * 2255 = 1695760 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 471 \text{ kW}$$

Como se puede observar en los cálculos del ciclo Rankine en el apartado anterior, al calor cedido en el condensador (475,67 kW) es suficiente para el secado de los residuos.

6.5 PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO EN REACCIÓN SHIFT

Una vez se obtiene el gas de síntesis limpio se lleva a cabo una reacción shift para aumentar la cantidad de H₂ presente en el syngas.

La reacción shift es la siguiente:



Todo el monóxido de carbono se convierte en hidrógeno según una relación estequiométrica de 1:1. [18]

El gasto másico de hidrógeno producido mediante esta reacción es el siguiente y previo a la reacción se calculan de la siguiente manera:

$$\dot{m}_{H_2SHIFT} = \dot{m}_{CO} \frac{MMH_2}{MMC O} = \frac{77,6}{100} * 5437,31 * 2 = 301,27 \text{ kg/h}$$

$$m_{H_2 inicial} = 0,0443 \dot{m}_{syngas} = 0,0443 * 5437,31 = 240,87 \text{ kg/h}$$

$$\dot{m}_{H_2TOTAL} = \dot{m}_{H_2SHIFT} + \dot{m}_{H_2inicial} = 542,14 \text{ kg/h}$$

7 HIDRÓGENO. PILAS DE COMBUSTIBLE Y ALMACENAMIENTO.

7.1 INTRODUCCIÓN

El átomo de hidrógeno está formado por un electrón y un protón, al carecer de neutrones es extremadamente ligero, 15 veces más que el aire. Es el elemento más abundante del universo. Sin embargo, debido a su pequeña masa la gravedad de la Tierra no es suficiente para atraerlo por lo que el hidrógeno en estado libre no es común en nuestro planeta. A pesar de ello, el hidrógeno abunda en la Tierra formando moléculas con otros elementos.

En los últimos años se han desarrollado técnicas más avanzadas para la obtención de hidrógeno aislado (H_2), ya que cada vez se hace más urgente encontrar un sustituto de los combustibles fósiles para la producción de energía. El hidrógeno es perfecto para este papel, ya que es capaz de proporcionar más energía por unidad de masa que el gas natural o el petróleo. Además, su combustión es totalmente limpia, los únicos productos son energía y agua. Una cualidad del hidrógeno de especial interés para este proyecto es su posibilidad de almacenamiento. Se pretende tener hidrógeno almacenado como reserva de energía gestionable para hacer frente a variaciones en la generación renovable no gestionable.

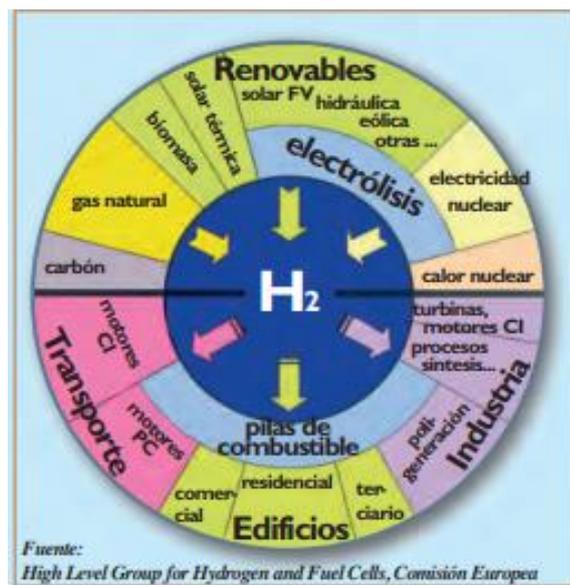


Figura 28. Sistemas de producción, conversores y aplicaciones del H_2 . [21]

Unas de las formas más comunes de aprovechamiento de hidrógeno para su transformación en energía son los motores de combustión interna o la utilización de turbinas generadoras. No obstante, para esta microrred se eligen las pilas de combustible para el aprovechamiento del hidrógeno del gas de síntesis por su capacidad de incorporar energía al sistema de forma casi instantánea. [22]

7.2 FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

Las pilas de combustible son 'baterías' que permiten la conversión continuada de la energía química del combustible con el que se alimenta en energía eléctrica y calor.

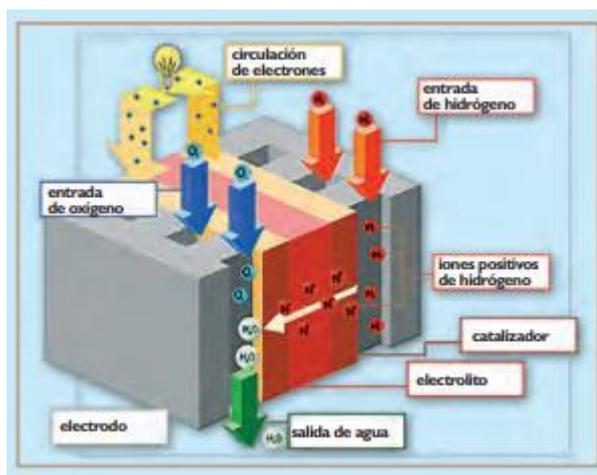


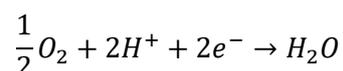
Figura 29. Esquema de una pila de combustible.[21]

Como puede observarse en la Figura 28, la pila consta de tres partes principales, dos electrodos cátodo, ánodo y un electrolito que se para ambos electrodos. En el ánodo tiene lugar la oxidación del hidrógeno (semirreacción de oxidación) en la que se obtienen dos protones y dos electrones según la siguiente reacción:



Los protones circulan a través del electrolito para encontrarse en el cátodo con el oxidante (oxígeno), mientras que los electrones son transportados por un circuito eléctrico que conecta ambos electrodos, este flujo de electrones es la energía eléctrica que se utilizará posteriormente en la microrred.

Por otra parte, en el cátodo, el oxígeno introducido reacciona con los electrones y protones procedentes del ánodo formando agua según la siguiente semirreacción de reducción [22]:



Obteniéndose, como únicos productos agua y electricidad.

7.3 TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

Se pueden utilizar diversos criterios para la clasificación de las pilas de combustible, sin embargo, en este proyecto se clasificarán según el tipo de electrolito ya que es la más utilizada y la que da nombre a las diferentes pilas de combustible.

	PEMFC	AFC	PAFC	MCFC	SOFC	DMFC
Electrolito	Membrana de Polímero Sólido	Solución Alcalina	Ácido Fosfórico	Carbonatos Fundidos	Óxido Sólido	Membrana de Polímero Sólido
Temperatura Operación (°C)	60 - 80	100 - 120	200 - 250	600 - 700	800 - 1000	50 - 120
Rango potencia	5 - 250 kW	5 - 150 kW	50 kW - 11 MW	100 kW - 2 MW	100 - 250 kW	5 kW
Ventajas	Baja Temperatura Arranque rápido Baja corrosión y mantenimiento	Mayor eficiencia Reacción catódica más rápida	Acepta H ₂ impuro	Reformado interno Cogeneración	Reformado interno Cogeneración	No necesita reformador de combustible
Aplicaciones	Transporte Portátiles Residencial	Espaciales	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Generación eléctrica distribuida y calor	Portátiles

Tabla 8. Tabla comparativa de los diferentes tipos de pilas de combustible. [Centro Nacional del Hidrógeno]

Uno de los requisitos más importantes que requieren las pilas de combustible utilizadas en esta microrred es que el tiempo de arranque sea bajo, por ello se descartan todas las pilas cuya temperatura de funcionamiento es alta, ya que llevaría un tiempo alcanzar esa temperatura para llegar al punto de funcionamiento óptimo. Se descartan, por tanto, las pilas del tipo PAFC, MCFC y SOFC.

En cuanto a las pilas AFC y DMFC ambas tienen buenas condiciones de funcionamiento, un arranque rápido y son eficientes. Sin embargo, la potencia de las pilas existentes en el mercado en estos momentos no es suficiente para abastecer la microrred, se necesitarían un gran número de pilas para satisfacer la demanda máxima de Linares.

Teniendo esto en cuenta, se eligen las pilas de membrana de polímero sólido (PEMFC).

7.4 SELECCIÓN DE PILA DE COMBUSTIBLE. PEMFC.

Las pilas de combustible PEMFC utilizan como electrolito una membrana polimérica de ácidos sulfónicos perfluorados, esta membrana se mantiene hidratada durante su funcionamiento a temperaturas siempre inferiores a 100°C. Dado que el único líquido utilizado es agua se evita en gran parte la corrosión, disminuyendo así los costes de mantenimiento. Requieren aire u oxígeno en el cátodo, gases fáciles de conseguir y almacenar, por lo que esto no supondrá un problema adicional. [22]

Las pilas de tipo PEMFC tienen la capacidad de funcionar con altas densidades energéticas y dar una respuesta rápida a las variaciones de demanda. Por otra parte, tienen la desventaja de que requieren hidrógeno de alta pureza, lo que requerirá controles exhaustivos de la composición química del gas de síntesis limpio.

Para el diseño de la microrred se ha escogido el modelo de pila de combustible de 1 MW de la empresa Hydrogenics, cuyo catálogo puede encontrarse en el Anexo B. Se

instalarán 50 baterías de este modelo, con el objetivo de tener una potencia instalada gestionable de 50 MW que pueda hacer frente a la demanda máxima de Linares en el escenario más desfavorable.



Figura 30. Pila de combustible de 1 MW de la empresa Hydrogenics. [Hydrogenics]

Según el catálogo del producto, las pilas de este modelo tendrán una potencia de 1MW para un caudal de hidrógeno de 750 Nm³/h con una eficiencia energética del 50%. Según la Asociación Española de Hidrógeno, en condiciones normales la densidad del mismo es de 0,0899 kg/Nm³ en estado gaseoso. Se infiere, por tanto, que:

$$\text{Caudal } H_2 = 750 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} * 0,0899 \frac{\text{kg}}{\text{Nm}^3} = 67,5 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Teniendo en cuenta la eficiencia de la pila se requerirá un caudal de 135 kg/h para obtener 1 MW de potencia en una pila de combustible. El flujo másico de hidrógeno extraído en el proceso de gasificación es suficiente para satisfacer las necesidades de la pila.

7.5 ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

Uno de los mayores obstáculos para la implantación de esta tecnología es el gran volumen que ocupa el hidrógeno. A pesar de tener un gran potencial como combustible, al ser su densidad tan baja, el hidrógeno gaseoso necesario para generar niveles aceptables de potencia ocupa un gran volumen. Se ha intentado comprimir hasta presiones de 200 bar, pero su volumen sigue siendo demasiado grande, almacenar 4 kg de hidrógeno requeriría un depósito de 250 litros.

Otra solución para el problema del almacenamiento pasa por la condensación del hidrógeno, en estado líquido el hidrógeno ocupa hasta 700 veces menos. Sin embargo, para llegar a este estado el hidrógeno necesita temperaturas muy bajas, del orden de

200 °C bajo cero, lo cual supondría un gasto energético considerable que haría disminuir la eficiencia de la planta y un incremento en los costes de almacenamiento.

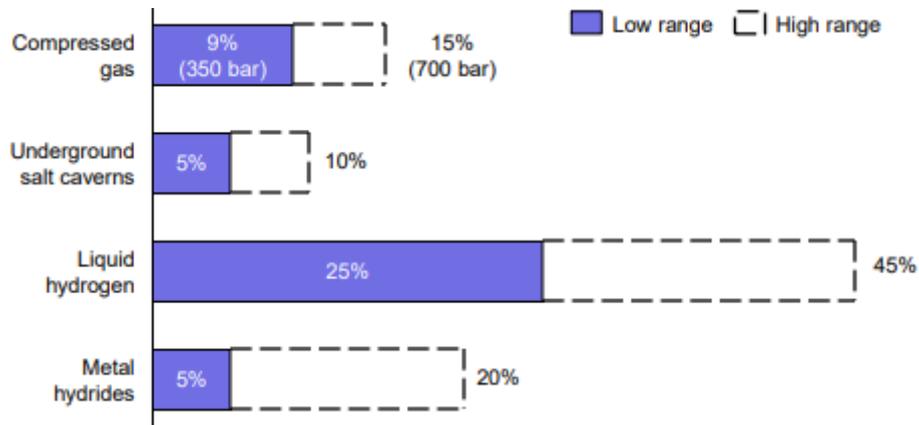


Figura 31. Pérdidas energéticas según el método de almacenamiento del hidrógeno

En este proyecto, no obstante, se optará por el almacenamiento de hidrógeno en estado sólido combinándolo con hidruros metálicos. Se inyecta hidrógeno a presión en metales o combinaciones de metales a baja temperatura. El éxito de este tipo de almacenamiento está en que el proceso es reversible, al calentar la mezcla y disminuir la presión el hidrógeno puede ser extraído fácilmente. Además, como se indica en la Figura 30, las pérdidas energéticas con este método son mucho más bajas que con el hidrógeno líquido.

De los modelos de tanque de almacenamiento comerciales se elige el modelo HBond 7000L de la marca ARIEMA, con un volumen de almacenamiento de 7000L.

7.6 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA CON EL SISTEMA DE PILAS

Cada pila tiene una potencia de 1 MW para un suministro de hidrógeno de 135 kg/h según se explica anteriormente. Para satisfacer la demanda máxima de Linares serán necesarias 50 pilas de 1 MW, lo que se traduce en un caudal másico de hidrógeno de 6750 kg/h.

Sabiendo que cada tanque tiene una capacidad de almacenamiento de 54 kg:

$$no. de tanques = \frac{6750 * 2}{54} = 250$$

Se necesitarán 250 tanques para satisfacer el máximo de demanda durante dos horas.

8 SUMINISTRO ELÉCTRICO A LINARES CON UNA MICRORRED INTELIGENTE

8.1 INTRODUCCIÓN

Se pretende, por tanto, configurar una microrred inteligente que abastezca de electricidad la ciudad de Linares utilizando exclusivamente tecnologías renovables para la producción de energía.

En los siguientes apartados se presenta la configuración elegida para la microrred y un estudio con los diferentes escenarios de generación posibles en la microrred. En todos los casos se supondrá el escenario de demanda más desfavorable, siendo esta el máximo durante todo el día. También se considerará que la planta de gasificación está en funcionamiento durante todo el día, independientemente del escenario en cuestión.

8.2 CONFIGURACIÓN DE LA MICRORRED

En cuanto a tecnologías **renovables**, la microrred cuenta con una potencia instalada de 212,18 MW de potencia hidroeléctrica.

Cuenta también con 50 MW de potencia **gestionable** en forma de pilas de hidrógeno.

Además, la microrred contará con una **interconexión con la red general**. Esta conexión tiene dos funciones principales. La primera, poder suministrar electricidad a la ciudad en caso de fallo de todas las tecnologías existentes. Y también, como la potencia instalada de la microrred es superior a la demanda de Linares, poder vender los excedentes de generación a la red general. Será por tanto una interconexión bidireccional.

8.3 CASOS DE ESTUDIO

8.3.1 CASO 1. TECNOLOGÍAS RENOVABLES EN FUNCIONAMIENTO

En este caso se estudia el escenario en el que toda la generación renovable está disponible. Es decir, las plantas hidroeléctricas están en funcionamiento. Además, la demanda de Linares es máxima.

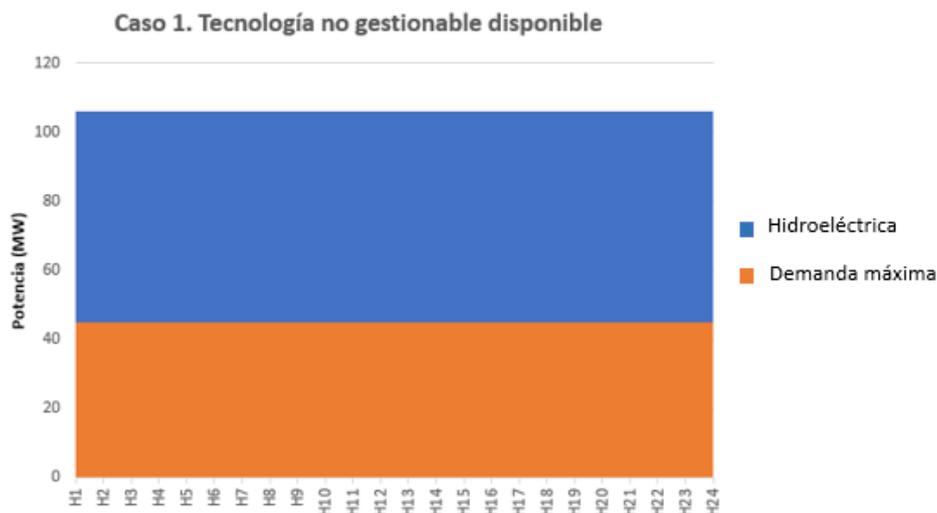


Figura 32. Toda la generación renovable disponible. [Elaboración propia]

Observando el gráfico de la figura 32 puede apreciarse como la generación hidráulica puede satisfacer sin problemas la demanda de la ciudad. De esta forma, todo el hidrógeno producido en la planta durante el día será almacenado. En este caso el excedente de generación se vendería a la red.

8.3.2 CASO 2. ASEUNCIA DE TECNOLOGÍAS RENOVABLES DURANTE UN PERIODO DE TIEMPO

En este apartado se analizará el supuesto en que las renovables dejan de estar disponibles durante 11 horas. Gracias al hidrógeno almacenado previamente en los tanques las pilas de combustible son capaces de hacer frente a la demanda durante dos horas y aportar 5 MW durante otras dos horas hasta que se gasta por completo el hidrógeno almacenado. El resto del tiempo en el que las renovables están ausentes se hace frente a la demanda utilizando la interconexión con la red general como se puede observar en la siguiente figura.

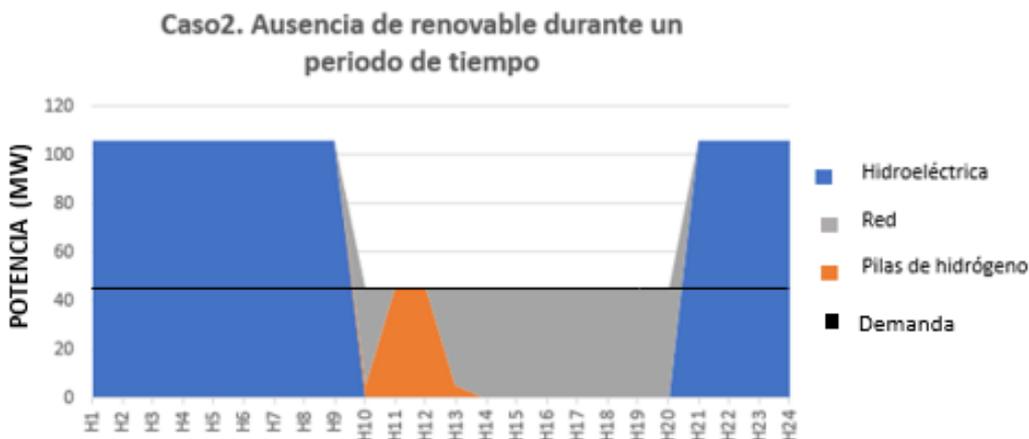


Figura 33. Ausencia de renovable durante un periodo de tiempo.

9 CONCLUSIONES ENERGÉTICAS

Se ha demostrado en este proyecto la viabilidad técnica de la implantación de una microrred en una ciudad de tamaño medio como es Linares. Queda patentada la posibilidad de combinar recursos energéticos renovables para abastecer energía sin necesidad de incluirlos en la red eléctrica nacional, cubriendo así un mayor porcentaje de demanda al ser gestionados eficazmente y eliminando la problemática asociada a su aleatoriedad en la generación.

Por otra parte, se ha logrado solucionar uno de los problemas latentes en lo relacionado con la energía, su almacenamiento. Se ha conseguido diseñar una reserva de hidrógeno que pueda convertirse en energía eléctrica de forma casi inmediata para hacer frente a fluctuaciones en la generación no gestionable. Un primer paso hacia un escenario futuro en el que la optimización del almacenamiento de hidrógeno permita aprovechar el mismo en otros ámbitos como el transporte.

Además, queda evidenciado el potencial energético de la biomasa en Andalucía. Se da utilidad a un subproducto de la producción de aceite como es el alperujo que, actualmente, está completamente desaprovechado. Se espera que el estudio llevado a cabo en este proyecto sirva de inspiración en el sector energético español para que se extienda el uso de la biomasa para la producción energética ya que, hoy en día, contribuye sólo en un 2% al mix energético. Situación paradójica si se tiene en cuenta que España es el tercer país europeo por recursos absolutos de biomasa forestal (sólo por detrás de Suecia y Finlandia).
[23]

10 ESTUDIO ECONÓMICO DE LAS DISTINTAS FUENTES DE GENERACIÓN

En esta sección se analizará el coste de generación de las diferentes tecnologías de generación utilizadas en la microrred. Se considerarán los costes de la inversión inicial en cada tecnología, la operación y el mantenimiento. Y a partir de ellos se deducirá el coste de generación asociado a cada tecnología.

Se tendrán en cuenta dos hipótesis en este estudio:

- Se considerará para todas las tecnologías una vida útil de 25 años y un valor residual nulo al final de la misma.
- La inversión inicial se realizará en el año 0.

10.1 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA TECNOLOGÍA HIDROELÉCTRICA

En la microrred se han considerado centrales de generación hidroeléctrica de tipo fluyente y de tipo pie de presa, los costes difieren según el tipo de central según datos del IDAE.

Central	Potencia (MW)	Tipo
Jándula	15	Pie de presa
Encinarejo	8.32	Pie de presa
Valtodano	3.15	Fluyente
Pedro Marín	13.2	Pie de presa
El Rumblar	2.5	Pie de presa
La Fernandina	5	Pie de presa
Puente de la Cerrada	7.52	Pie de presa
Guadalmena	15.2	Pie de presa
Salto de San Rafael	3.2	Pie de presa
CH Giribaile	20	Pie de presa
Arquillos	1.44	Fluyente
Marmolejo	16.96	Pie de presa
Salto del Yeguas	4.9	Pie de presa
Mengíbar	4.2	Fluyente
Olvera	2.39	Pie de presa
Los Órganos	1.92	Pie de presa
Miller	27	Pie de presa
Doña Aldonza	10.4	Pie de presa
Racioneros	2.4	Fluyente
Guadalén	5.12	Pie de presa
Salto del Molino de Guadalén	2.56	Pie de presa
Tranco de Beas	39.8	Pie de presa
TOTAL (MW)	212,18	

Tabla 9. Centrales hidroeléctricas en Linares, potencia y tipo. [Elaboración propia]

10.1.1 INVERSIÓN INICIAL

Según datos publicados por el IDAE los costes de inversión inicial para una central hidráulica se reparten de la siguiente forma.

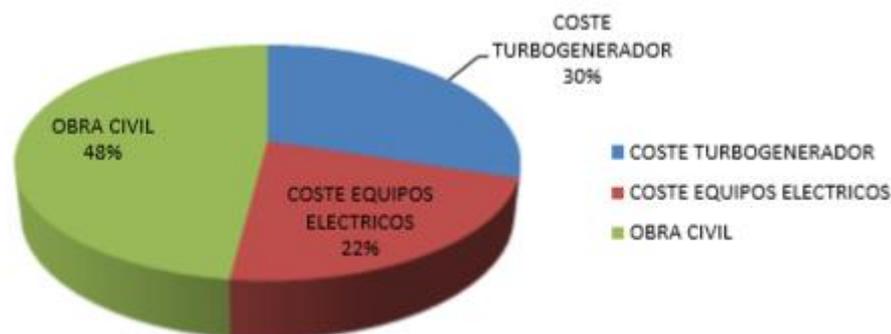


Figura 34. Reparto de los costes de inversión inicial de una central hidráulica. [IDAE] [21]

Conociendo esta repartición de costes de inversión inicial y teniendo en cuenta también, según IDAE, la inversión requerida para una central de tipo fluyente es 1.500 €/kW y para una de tipo pie de presa es 700 €/kW. El reparto detallado de la inversión inicial es el siguiente:

Central	Potencia (MW)	Coste total (M€)
Jándula	15	10,5
Encinarejo	8.32	5,824
Valtodano	3.15	2,205
Pedro Marín	13.2	9,24
El Rumblar	2.5	1,75
La Fernandina	5	3,5
Puente de la Cerrada	7.52	5,264
Guadalmena	15.2	10,64
Salto de San Rafael	3.2	2,24
CH Giribaile	20	14
Arquillos	1.44	2,16
Marmolejo	16.96	11,872
Salto del Yeguas	4.9	3,43
Mengíbar	4.2	6,3
Olvera	2.39	1,673
Los Órganos	1.92	1,334
Miller	27	18,9
Doña Aldonza	10.4	7,28
Racioneros	2.4	3,6
Guadalén	5.12	3,584
Salto del Molino de Guadalén	2.56	1,792
Tranco de Beas	39.8	27,86
TOTAL	212,18 MW	154,948 M€

Figura 35. Inversión inicial tecnología hidráulica. [Elaboración propia]

10.1.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN

Según datos publicados por el IDAE los costes de explotación para una central de tipo fluyente de 5.000 kW son 225.000 €/año y para una central de tipo pie de presa de 20.000 kW son 280.000 €/año. Para este cálculo únicamente se considerará el tipo de central, no su tamaño, por tanto:

TIPO DE CENTRAL	No. DE CENTRALES	C. EXPLOTACIÓN (M€/AÑO)
Fluyente	4	0,9
Pie de presa	18	5,04
TOTAL (M€/año)		5,94

Figura 36. Costes de explotación tecnología hidráulica. [Elaboración propia]

10.1.3 COSTES DE GENERACIÓN TECNOLOGÍA HIDRÁULICA

Se considerará para los costes de amortización que el valor residual de las centrales es nulo. Como se menciona anteriormente, la vida útil de las centrales se ha supuesto de 25 años.

	AÑO 1	AÑO 25
Costes de explotación	5,9	5,9
Costes de amortización	22,5	22,5
Generación anual (GWh)	912,374	912,374
Coste del kWh (€/kWh)	0,031204	0,031204

Tabla 10. Desglose del coste de generación tecnología hidráulica. [Elaboración propia]

Para simplificar el análisis, se asumirá que los costes de generación serán los mismos durante los 25 años de vida útil.

10.2 ESTUDIO ECONÓMICO DE LA TECNOLOGÍA DE PLASMA Y LAS PILAS DE COMBUSTIBLE

El estudio económico de esta parte de la microrred se dividirá en tres partes diferenciadas: gasificación de los residuos, ciclo Rankine de aprovechamiento de calor y generación de hidrógeno con pilas de combustible.

10.2.1 GASIFICACIÓN DE RESIDUOS

Para la evaluación económica de esta parte del proceso se tendrá en cuenta que la planta está en funcionamiento 8760 horas al año y trabaja con un caudal de 130,5 toneladas diarias de residuos. Se traduce en 47.632,5 T/año.

Se utilizarán datos económicos aportados por la empresa Materiales Renovados y también se adaptarán datos extraídos del proyecto de Almudena Valenciano (ref. no. 21).

10.2.1.1 INVERSIÓN INICIAL

Se estima una inversión inicial de 9 millones de euros para la compra e instalación de: los sistemas de alimentación de residuos, el gasificador, el sistema de antorcha, el sistema de retirada de los residuos del gasificador, el sistema de control y los equipos de protección y medida.

Considerando una vida útil de 25 años para los equipos con valor residual nulo, la amortización anual sería de 0,36 M€/año. [21]

10.2.1.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN

Los costes de explotación se dividen en costes de mantenimiento, de personal y de operación. Se tendrá en cuenta que existen nueve operarios asalariados y tres jefes de planta. [21]

En las siguientes tablas se recoge el desglose de los costes de explotación:

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	€/TONELADA	TONELADAS	TOTAL (€)
PRODUCTOS QUÍMICOS	9	47.632,5	428.692,5
ELECTRODOS	5	47.632,5	238.162,5
MANTENIMIENTO REFRACTARIO Y ANTORCHAS	6	47.632,5	285.795
MANTENIMIENTO GENERAL	7	47.632,5	333.427,5
TOTAL (€)			1.286.077,5

Tabla 11. Costes de operación y mantenimiento gasificación de residuos. [Elaboración propia][21]

PERSONAL	€/PERSONA	PERSONAS	TOTAL (€)
PERSONAL DE OPERACIÓN	24.000	9	216.000
JEFE DE PLANTA	48.000	3	144.000
TOTAL (€)			360.000

Tabla 12. Costes de personal gasificación de residuos. [21]

El coste anual de explotación para la gasificación de residuos es, por tanto, 1.646.077,5 €.

10.2.2 CICLO RANKINE

Los costes del ciclo Rankine se han adaptado del proyecto de Almudena Valenciano, teniendo en cuenta la diferencia en el volumen de la planta. La energía neta generada a lo largo de un año es 1880,85 MWh.

TIPO DE COSTE	TOTAL
INVERSIÓN (M€)	3,24
COSTE DE EXPLOTACIÓN (M€/AÑO)	0,15

Tabla 13. Costes asociados al ciclo Rankine. [Elaboración propia][21]

Considerando una vida útil de 25 años con valor residual nulo, la amortización anual será de 0,1296 M€.

10.2.3 PILAS DE COMBUSTIBLE

Para el estudio de costes de la instalación generadora a partir de hidrógeno y de almacenamiento se utilizarán datos del proyecto de Almudena Valenciano.

10.2.3.1 INVERSIÓN INICIAL

Los costes de adquisición e instalación de las pilas de hidrógeno, incluyendo el almacenamiento, es de 2,61 M€/MW. Se cuenta con 50 MW de potencia instalada, lo que supondrá unos costes de 130,5 M€ de inversión inicial.

Suponiendo 25 años de vida útil y valor residual nulo, los costes de amortización anuales son 5,22 M€.

10.2.3.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN

Una de las múltiples ventajas de la utilización de las pilas de combustible es su bajo coste de mantenimiento. Se estiman los costes de explotación en 14,92 €/MWh, en los que están incluidos los costes asociados a la operación, mantenimiento y todos aquellos gastos variables relacionados con las pilas de combustible.

No se dispone de datos fiables sobre demanda, por tanto, no se puede predecir la energía producida anualmente por las pilas de forma fiable. Sin embargo, se asumirá una producción diaria de 125 MWh. Lo que se traduce en 45,635 GWh anuales. Y, por tanto, un coste de explotación de 0,6808 €/año.

10.2.3.3 COSTES DE GENERACIÓN PILAS DE COMBUSTIBLE

Para calcular el coste del kW generado mediante las pilas de combustible se incluirán también los costes de las demás partes de la planta de gasificación calculados anteriormente. No se tendrá en cuenta la energía generada en el ciclo Rankine ya que es mínima en comparación con la de las pilas de combustible y además es reintroducida en la planta para cuadrar un balance energético positivo.

	AÑO 1	AÑO 25
Costes de explotación	2,4768	2,4768
Costes de amortización	5,71	5,71
Generación anual (GWh)	45,635	45,635
Coste del kWh (€/kWh)	0,179	0,179

Tabla 14. Desglose del coste de generación pilas de combustible. [Elaboración propia]

Para simplificar el análisis, se asumirá que los costes de generación serán los mismos durante los 25 años de vida útil.

11 ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

Se llevará a cabo el cálculo del valor actual neto (VAN) de la inversión para determinar su grado de rentabilidad.

Se tomarán las siguientes hipótesis:

- Toda la inversión inicial se realiza en el año 0.
- La energía se venderá al consumidor al precio actual del mercado a día 12 de Julio de 2019, que es de 58,29 €/MWh.
- Los excedentes de generación se venderán a la red nacional por el precio citado anteriormente. (58,29 €/MWh).
- Se considerará un caso muy desfavorable en el que el tipo de interés (i) sea del 10%.

El VAN de la inversión se calcula de la siguiente manera:

$$\sum_{n=0}^{25} \frac{\text{Flujo de caja año } n}{(1+i)^n} = VAN$$

Se obtiene un VAN de 453,82 M€, lo que indica una alta rentabilidad para la inversión. Queda demostrada por tanto la viabilidad económica de la microrred.

ANEXO A. Listado de fábricas y cooperativas en los alrededores de Linares.

NOMBRE DE LA FÁBRICA	LOCALIZACIÓN
ACEITES ASEAL, S.L.	NAVAS DE SAN JUAN
ACEITES BAÉCULA, S.L.	BAILÉN
ACEITES CALABRUS, S.A.	TORREDONJIMENO
ACEITES CASTELLAR, S.L.	CASTELLAR
ACEITES CORTIJO LA TORRE, S.L.U.	ARJONA
ACEITES FCO. GONZALEZ HIDALGO	CASTELLAR
ACEITES LA DEHESA, S.L.	JÓDAR
ACEITES LA FUENTE, S.L.	LA GUARDIA DE JAÉN
ACEITES LA PURÍSIMA, S.L.	JIMENA
ACEITES LA RECTA, S.L.	ÚBEDA
ACEITES LAS ALMENAS, S.L	ESPELUY
ACEITES LOS JAREÑOS, S.L	JAÉN
ACEITES MONTEOLIVO. S.L.	VILLANUEVA DE LA REINA
ACEITES MORAL, S.L.	TORREDELCAMPO
ACEITES PENIBETICOS, S.A.	NAVAS DE SAN JUAN
ACEITES SAN FRANCISCO XXI	PEGALAJAR
ACEITES ZARATE, S.A.	TORREPEROJIL
ACEITUNAS ECOROME, S.L.	ÚBEDA
ACEITUNAS JAEN, S.L.	IBROS
AGRICOLA PINOS CLAROS, S.A.	JÓDAR
AGROPECUARIA LAS TAPIAS, S.A.	ANDÚJAR
AGUSTÍN GARRIDO POYATOS - LA PURA	LA CERRADURA
AGUSTÍN MORENO SORIANO - SAN MIGUEL	HUELMA

ALMAZARA ACAPULCO	TORREDONJIMENO
ALMAZARA CRUZ DE ESTEBAN, S.L.	MANCHA REAL
ALMAZARA DEL OLIVAR	CASTELLAR
ALMAZARA JIMENEZ S.L.	LOS VILLARES
ALMAZARA SAN PABLO, S.L.	BAILÉN
BALTASAR LARA Y CIA, S.A.	ÚBEDA
CASTILLO DE CANENA	CANENA
CASTILLO DE SABIOTE	SABIOTE
EMILIO VALLEJO, S.A.	TORREDONJIMENO
EXPLOTACIONES BAÑÓN, S.A.	VERACRUZ
EXPLOTACIONES JAME	VILLATORRES
FROILÁN ALBACETE, S.L.	CASTELLAR
GAMEZ PIÑAR E HIJOS	JÓDAR
GARCIA LA MONEDA, S.L.	LUPIÓN
GONZALEZ E HIJOS C.B.	FUENSANTA DE MARTOS
HIJOS DE LUIS FERNÁNDEZ MARTÍNEZ, S.A.	IBROS
HROS. DE ILDEFONSO ESPINOSA FERNÁNDEZ	PEGALAJAR
HROS. TEODORA MARTÍNEZ	BAEZA
INDUSTRIAS SAN PEDRO, S.A.	JAÉN
JAÉN ORO SELECCIÓN, S.L.U.	FUENSANTA DE MARTOS
LA RUEDA CASA BAJA, S.L.	BAEZA
MERCADOS OLÉÍCOLAS, S.L.	ARJONA
MIGUEL GUZMÁN AVILÉS Y HNOS, C.B.	ARJONILLA
MONVA, S.L	MANCHA REAL
OLEÍCOLA ÁLVAREZ, S.L.	TORREDONJIMENO

OLEÍCOLA JAEN, S.A.	BAEZA
OLEÍCOLA SAN FRANCISCO, S.L.	BEGÍJAR
OLEOMÁGINA, S.L.	BELMEZ DE LA MORALEDA
OLIOR PORCUNA, S.A.	PORCUNA
OLIVARERA DEL CONDADO, S.A.	SANTISTEBAN DEL PUERTO
OLIVASUR NATURAL	ARQUILLOS
P.Y.D.A.S.A.	MARTOS
S.A.T. GARCÍA MORÓN	ARJONILLA
S.A.T. OLEA ANDALUZA	BAEZA
VADO-OLIVO, S.A.	VALDECAZORLA

NOMBRE DE LA COOPERATIVA	LOCALIZACIÓN
OLEICOLA VALDEPEÑAS DE JAEN S.COOP.AND.	VALDEPEÑAS DE JAÉN
S.A.T Nº 2785 NTRA SRA DEL CAMINO	GARCIEZ
S.A.T. Nº 5645 EL OLIVO	VILCHES
S.C.A AGRARIA DE PORCUNA	PORCUNA
S.C.A CRISTO VERA CRUZ	BEGIJAR
S.C.A EL ALCAZAR	BAEZA
S.C.A FUENTE DEL ROSAL	NAVAS DE SAN JUAN
S.C.A HORTICOLA SAN MARCOS	TORRES
S.C.A JAENCOOP, DE 2º GRADO	VILLANUEVA DEL ARZOBISPO
S.C.A JESUS DE NAZARET	JAMILENA
S.C.A LA PURISIMA CONCEPCION	GUARROMÁN
S.C.A LA PURISIMA CONCEPCIÓN	ALDEAQUEMADA
S.C.A LA PURISIMA CONCEPCION	PEGALAJAR

S.C.A LA REMEDIADORA	IBROS
S.C.A LA VERACRUZ	VILLANUEVA DEL ARZOBISPO
S.C.A NTO PADRE JESUS DE LA COLUMNA	TORRES
S.C.A NTRA SRA ASUNCION Y SAN JOSE	RUS
S.C.A NTRA SRA DE CONSOLACION	CASTELLAR
S.C.A NTRA SRA DE GUADALUPE	UBEDA
S.C.A NTRA SRA DE LA CONSOLACION	TORREDONJIMENO
S.C.A NTRA SRA DEL CAMPILLO	TORREBLASCOPEDRO
S.C.A NTRA SRA DEL CASTILLO	VILCHES
S.C.A NTRA SRA DEL COLLADO	SANTISTEBAN DEL PUERTO
S.C.A NTRA SRA DEL OLIVO	TORREBLASCOPEDRO
S.C.A NTRA SRA DEL PILAR	VILLACARRILLO
S.C.A NTRA SRA DEL ROSARIO	VILLACARRILLO
S.C.A NTRA SRA DEL ROSARIO	JAMILENA
S.C.A NTRA SRA DEL ROSARIO Y SAN BLAS	RUS
S.C.A NTRO PADRE JESUS	JABALQUINTO
S.C.A NUESTRO PADRE JESUS DEL LLANO	BAÑOS DE LA ENCINA
S.C.A NUEVA ESPERANZA	TORREDONJIMENO
S.C.A OLEICOLA BAEZA	BAEZA
S.C.A SAGRADO CORAZON DE JESUS	MANCHA REAL
S.C.A SAN ANTONIO ABAD	ARQUILLOS
S.C.A SAN BENITO	CASTELLAR
S.C.A SAN FELIPE APOSTOL	BAEZA
S.C.A SAN FRANCISCO	VALLANUEVA DEL ARZOBISPO
S.C.A SAN FRANCISCO	MANCHA REAL
S.C.A SAN ISIDRO	VILLANUEVA DEL ARZOBISPO

S.C.A SAN ISIDRO	ARJONA
S.C.A SAN ISIDRO	LOS VILLARES
S.C.A SAN ISIDRO LABRADOR	CANENA
S.C.A SAN ISIDRO LABRADOR	MANCAH REAL
S.C.A SAN JOSE	TORREDONJIMENO
S.C.A SAN JUAN	VILLAGORDO
S.C.A SAN JUAN BAUTISTA	NAVAS DE SAN JUAN
S.C.A SAN JUAN BAUTISTA	ALDEAHERMOSA
S.C.A SAN MARCOS	CANENA
S.C.A SAN MARCOS EVANGELISTA	TORREQUEDBRADILLA
S.C.A SAN PEDRO APOSTOL	MENGIBAR
S.C.A SAN RAFAEL	ANDÚJAR
S.C.A SAN ROQUE	ARJONILLA
S.C.A SAN ROQUE	CARCHELEJO
S.C.A SANTA CLOTILDE	SANTISTEBAN DEL PUERTO
S.C.A SANTA GERTRUDIS	BAILÉN
S.C.A SANTA ISABEL	TORRES
S.C.A SANTA LUCIA	JABALQUINTO
S.C.A SIERRA DE LA PANDERA	LAS VILLARES
S.C.A STMO CRISTO DE LA MISERICORDIA	JÓDAR
S.C.A STMO CRISTO DE LA VERACRUZ	VILLACARRILO
S.C.A SUMINISTROS UNIOLIVA	ÚBEDA
S.C.A TORREDONJIMENO, DE 2º GRADO	TORREDONJIMENO
S.C.A UNION OLEICOLA DE CAMBIL	CAMBIL
S.C.A VIRGEN DE LA CAPILLA	JAÉN

S.C.A VIRGEN DE LA ESTRELLA	NAVAS DE SAN JUAN
S.C.A VIRGEN DEL PILAR	SANTISTEBAN DEL PUERTO
S.C.A. ACEITES GUADALQUIVIR	VILLANUEVA DE LA REINA
S.C.A. AGRICOLA DE BAILÉN VIRGEN DE ZOCUECA	BAILÉN
S.C.A. COBIOSUR	LA CAROLINA
S.C.A. DOMINGO SOLIS	MARTOS
S.C.A. LA CARRERA	ÚBEDA
S.C.A. NUESTRA SEÑORA DEL CARMEN	TORREDONJIMENO
S.C.A. OLEOXA ACEITES DE JAEN	PORCUNA
S.C.A. SAN ANTONIO ABAD	CHARCHELES
S.C.A. SAN JUAN	JAÉN
SDAD. COOP. AND. CRISTO DE LA SALUD	VILLAGORDO
SDAD. COOP. AND. NTRA. SRA. DE LORITE	LUPIÓN
SDAD. COOP. AND. SAN ANTONIO	LA CAROLINA
SDAD. COOP. AND. SAN FRANCISCO	MENGÍBAR
SDAD. COOP. AND. SAN GINÉS Y SAN ISIDRO	SABIOTE
UNION DE UBEDA S. COOP. AND. UNIOLIVA	ÚBEDA
SDAD. COOP. AND. SANTA MARÍA	PEGALAJAR

HYDROGENICS
SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

FUEL CELL MEGAWATT POWER GENERATION PLATFORM

Hydrogenics' MW Power Plant platform is a highly-reliable and cost-effective solution for baseload, cyclic generation and peaking power applications.



Stationary power applications require solutions from as small as a 100 kW HyPM-100 to as large as a 50 MW power plant. Hydrogenics' fuel cell power generation platform is a zero-emissions solution to serve baseload power, cyclic generation or peaking power demands.

Whether it's replacing unreliable backup diesel generators in renewable micro-grid applications or providing 20 megawatts of baseload power, our portfolio of power generation solutions enable us to meet your specific operational needs and applications.

Hydrogenics' HyPM™ is at the core of our solution. It provides peak efficiency greater than 50% with small footprint, high runtime capabilities, and unlimited start-stop cycling. Neither water for humidification nor nitrogen for shutdown are required.

PRODUCT SPECIFICATIONS

Type	PEM (Proton Exchange Membrane) Fuel Cell Power Generator ¹	
Performance	Electrical Output Continuous	1 MWe
	Electrical Efficiency	>60% LHV at BOL
	System Output Voltage	380 - 480 VAC
	System Output Frequency	50 - 60 Hz
	Package Design Life	20 years with LTSA
Physical Characteristics	Dimensions: (H) x (W) x (L)	9.6 x 8 x 40 feet (x2)
	Weight	32,000 kg
Fuel	Hydrogen ²	> 99.99%
	Fuel Consumption	760 Nm ³ /h per 1MW ³
	Aux Electrical Input Power	36 kW continuous, 40 kW at start-up
Available Heat	Output Heat Load	< 1.6 MW
	Stack Temperature	Up to 70°C
	Exhaust Gas Temperature	70°C
Emissions	Noise level at 1m	Approx. 76 dB in open air
	Pollutants	Zero emissions (No GHG or local air pollutants)



¹ Conditions: Inlet air temperature: 15°C | Atmospheric pressure: 101.3 kPa

² Fuel type: Hydrogen according to ISO/TS 14687-2:2008(E)

³ Cumulative average. Fuel consumption calculated for reference only. Actual fuel consumption may vary.



Hydrogenics Megawatt Power Plant in Korea
Providing multi-megawatt continuous clean power to the grid

REFERENCIAS

- [1] Eurostat. Electricity Price Statistics.
- [2] OMIE.
- [3] Eurostat.
- [4] REE.
- [5] Smarts Grids European Technology Platform. etip-snet.eu
- [6] Siemens.
- [7] ENDESA.
- [8] Barnes, M. and Kondoh, J. (2007). *Real-World MicroGrids An Overview*.
- [9] Stathis Tselepis. (2012). *12 years operation of the Gaidouromantra Microgrid in Kythnos island*.
- [10] N. P. Cheremisinoff. (2016.) *Pollution Control Handbook for Oil and Gas Engineering*, John Wiley & Sons.
- [11] Global Syngas Technologies Council. GSTC.
- [12] Apuntes de la asignatura de Ingeniería Medioambiental.
- [13] Aristizábal, C. (2001). *El aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios no tóxicos en Bogotá D.C.*
- [14] AlterNRG.
- [15] Y. Byun, J. Chung, M. Cho. (2012). *Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW)*, INTECH Open Access Publisher.
- [16] L. Gray. (2014). *Plasma Gasification as a Viable Waste-To-Energy Treatment of Municipal Solid Waste*.
- [17] Anónimo. (2013). *Tecnología de gasificación por plasma de Westinghouse*.
- [18] A. Valenciano. (2015). *PFC. Estudio de una microrred inteligente en la ciudad de Huesca*.
- [19] J. Ciudad, F. Sola. (2018). Informe de Resultados. Alperujo.
- [20] J.A. Callejo, T. Parras, T. Manrique. (2010). *Potencial Energético de los Subproductos de la Industria Olivarera en Andalucía*.
- [21] P. Asensio. *Energías renovables para todos. Hidrógeno y pila de combustible*.
- [22] Asociación Española de Pilas de Combustible. APPICE.
- [23] Balance socioeconómico de las biomásas en España. Asociación española de la biomasa.

BIBLIOGRAFIA

- Real-World MicroGrids An Overview. M. Barnes
- 12 years operation of the Gaidouromantra Microgrid in Kythnos island. Stathis Tselepis
- Pollution Control Handbook for Oil and Gas Engineering. N. P. Cheremisinoff.
- Apuntes de la asignatura de Ingeniería Medioambiental
- El aprovechamiento de los residuos sólidos domiciliarios no tóxicos en Bogotá D.C. C. Aristizábal.
- Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW). Y. Byun,
- Plasma Gasification as a Viable Waste-To-Energy Treatment of Municipal Solid Waste. L. Gray.
- Tecnología de gasificación por plasma de Westinghouse. Anónimo.
- PFC. Estudio de una microrred inteligente en la ciudad de Huesca. A. Valenciano.
- Potencial Energético de los Subproductos de la Industria Olivarera en Andalucía. J.A. Callejo
- Energías renovables para todos. Hidrógeno y pila de combustible. P. Asensio.
- Balance socioeconómico de las biomasas en España. Asociación española de la biomasa.
- Informe de infraestructuras energéticas provincia de Jaén 2018.
- Manuales de energías renovables. Minicentrales hidroeléctricas. IDAE.