



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE RESIUDOS BIOMÁSICOS EN LA CIUDAD DE JAÉN

Autor: Javier Sanz García – Sintas

Director: Julio Montes Ponce de León

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Producción de Hidrógeno a partir de Residuos Biomásicos en la Ciudad de Jaén en la ETS
de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/2021 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Javier Sanz García – Sintas

Fecha: 12/ 07/ 2021

Autorizada la entrega del proyecto

Julio Montes Ponce de León



Fdo.: Julio Montes Ponce de León

Fecha: 12/ 07/ 2021

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. Javier Sanz García – Sintas

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Producción de Hidrógeno a partir de Residuos Biomásicos en la Ciudad de Jaén, 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) Reproducir la 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 esta
- 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.
- 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 12. de julio de 2021

ACEPTA



Fdo

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



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE RESIDUOS BIOMÁSICOS EN LA CIUDAD DE JAÉN

Autor: Javier Sanz García – Sintas

Director: Julio Montes Ponce de León

Madrid

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO A PARTIR DE RESIDUOS BIOMÁSICOS EN LA CIUDAD DE JAÉN

Autor: Sanz García – Sintas, Javier.

Director: Montes Ponce de León, Julio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Uso del hidrógeno como energía renovable gestionable, a través de la recuperación energética por gasificación del plasma de residuos vegetales, con el fin de obtener el hidrógeno para pilas de combustible, destinado a la ciudad de Jaén.

Palabras clave: Residuos, Gasificación por Plasma, Energía, Hidrógeno.

En los últimos años, en España han ido aumentando considerable los costes de generación eléctrica, pasando de ser una de las más baratas de Europa a las más caras, consecuencia de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico. En esta, se distinguía en régimen ordinario y especial, priorizando la implantación de energías renovables no gestionables. Además, se suma que, en la actualidad, el precio que paga el consumidor por la energía renovable no se corresponde con los costes de generación reales.

Una posible solución a partir de la cual se podría reducir ese precio es a través del uso de una energía renovable y gestionable, empleando residuos orgánicos como materia prima, del que extraer hidrógeno. Del hidrógeno, mediante pilas de combustible, se conseguiría producir energía eléctrica, teniendo un recurso renovable, como la energía eólica y fotovoltaica, pero sumándose el factor de ser la energía a partir del hidrógeno gestionable.

Se basa el empleo de residuos biomásicos en que, la Unión Europea, exige el cierre de todos los vertederos controlados de los países miembros para 2030, como consecuencia de la contaminación que producían en el ambiente. Es por ello por lo que, al contar Jaén y sus alrededores con 5 vertederos controlados:

VERTEDEROS CONTROLADOS JAÉN PROVINCIA

UBICACIÓN	RESIDUOS (Tm/año)
Andujar	22 264.9
Chiclana de Segura	33 931.1
Jaén	80 423.3
Linares	40 972.1
Úbeda	33 290.7

Se deben aprovechar, de todos los residuos que acaban en estos vertederos, los residuos sólidos urbanos, agrícolas y forestales; como materia prima con la cual obtener hidrógeno.

En este caso, se opta por la decisión de comprobar la viabilidad de instalar una microrred en la ciudad de Jaén, acotando un perímetro con un radio de 50 kilómetros, con origen en su núcleo urbano, en el cual entren todas las instalaciones de energía renovable ya existentes para dicha cota. En este marco, entran a escena la energía fotovoltaica, cogeneración, eólica e hidráulica.

RESIDUOS ORGÁNICOS (Tm)

PROCEDENCIA	RESIDUOS (Tm/año)
RSU	19723
Agrícola	169264
Forestal	6321
TOTAL (Tm)	195308

Para obtener el hidrógeno, se somete a los residuos biomásicos a un proceso de gasificación por plasma (gas ionizado a alta temperatura). Aquí, se encuentran iones que, al someterlos a altas velocidades, se rompen las moléculas en elementos más primitivos. Si se trata de una sustancia orgánica, se descomponen fundamentalmente en hidrógeno y carbono.

Con ello, se decide por la construcción de la central de gasificación por plasma de la empresa checa S.W.H. Group S.E., que viene incorporada con una turbina de gas en un ciclo Rankine.

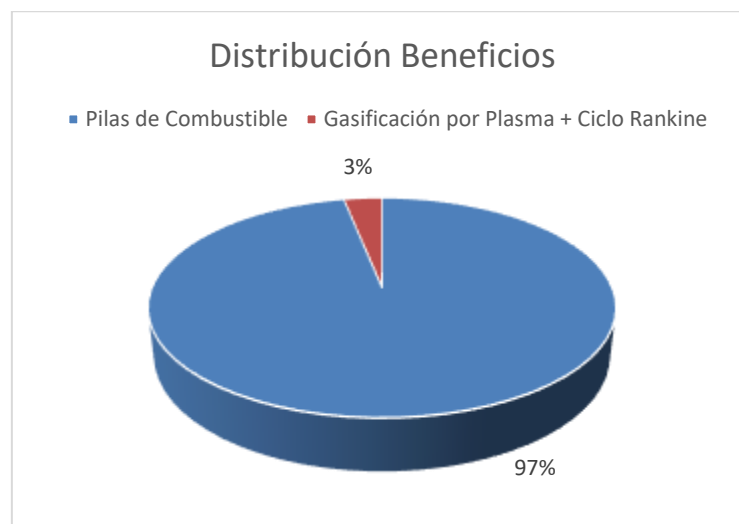
Mediante la turbina de gas, se recupera el calor producido en la gasificación, transformándolo en energía eléctrica que se inyecta en la red.

De la misma manera, se utilizan pilas de combustible, en las que se usa el hidrógeno obtenido del plasma. Con las pilas, se consigue un soporte de energía renovable y gestionable. Se alcanza, por lo tanto, junto a las energías previamente instaladas:

GENERACIÓN MICRORRED	
NO GESTIONABLE	
PROCEDENCIA	POTENCIA (MW)
Eólica	15.18
Fotovoltaica	87.87
TOTAL (MW)	103.05

GENERACIÓN MICRORRED	
GESTIONABLE	
PROCEDENCIA	POTENCIA (MW)
Cogeneración	119.81
Biomasa	21.00
Hidráulica	68.71
Gasificación por Plasma	2.00
Pilas de Combustible	80.00
TOTAL (MW)	291.52

Con todo lo que se ha mencionado, se llega a tener gran rentabilidad a lo largo de la vida útil de las diferentes instalaciones, llegando a un beneficio total en 25 años de 414.76 millones de euros, estando repartidos:



HYDROGEN PRODUCTION FROM BIOMASS WASTE IN THE CITY OF JAÉN

Author: Sanz García - Sintas, Javier.

Supervisor: Montes Ponce de León, Julio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

ABSTRACT

Use of hydrogen as a manageable renewable energy, through energy recovery by gasification of vegetable waste plasma, to obtain hydrogen for fuel cells for the city of Jaén.

Keywords: Waste, Plasma Gasification, Energy, Hydrogen

In recent years, electricity generation costs in Spain have increased considerably, going from being one of the cheapest in Europe to one of the most expensive, as a result of 54/1997 Law of the Electric Sector. In this legislation, a distinction was made between ordinary and special regimes, prioritising the implementation of non-manageable renewable energies. In addition, the price paid by the consumer for renewable energy does not correspond to the real costs of generation.

One possible solution that could reduce this price is using renewable and manageable energy, using organic waste as a raw material from which to extract hydrogen. From hydrogen, by means of fuel cells, it would be possible to produce electrical energy, using a renewable resource, such as wind and photovoltaic energy, but with the added factor of the energy from hydrogen being manageable.

The use of biomass waste is since the European Union demands the closure of all controlled landfills in member countries by 2030, because of the pollution they produce in the environment. For this reason, Jaén and its surroundings have 5 controlled landfills:

CONTROLLED LANDFILLS JAÉN PROVINCE	
LOCATION	WASTE (Tm/año)
Andujar	22 264.9
Chiclana de Segura	33 931.1
Jaén	80 423.3
Linares	40 972.1
Úbeda	33 290.7

In this case, the decision was taken to test the feasibility of installing a microgrid in the city of Jaén, delimiting a perimeter with a radius of 50 kilometres, with its origin in the city centre, in which all the renewable energy installations already existing at that level would enter. Within this framework, photovoltaic, cogeneration, wind and hydraulic energy come into play.

Of all the waste that ends up in these landfills, municipal, agricultural and forestry solid waste should be used as a raw material from which to obtain hydrogen.

ORGANIC WASTE (Tm)	
SOURCE	WASTE (Tm/year)
MSW	19723
Agricultural	169264
Forest	6321
TOTAL (Tm)	195308

To obtain hydrogen, biomass waste is subjected to a plasma gasification process (high temperature ionised gas). Here, ions are found which, when subjected to high velocities, break down the molecules into more primitive elements. If it is an organic substance, it is mainly broken down into hydrogen and carbon.

This led to the decision to build the plasma gasification plant of the Czech company S.W.H. Group S.E., which is equipped with a gas turbine in a Rankine cycle. The gas turbine

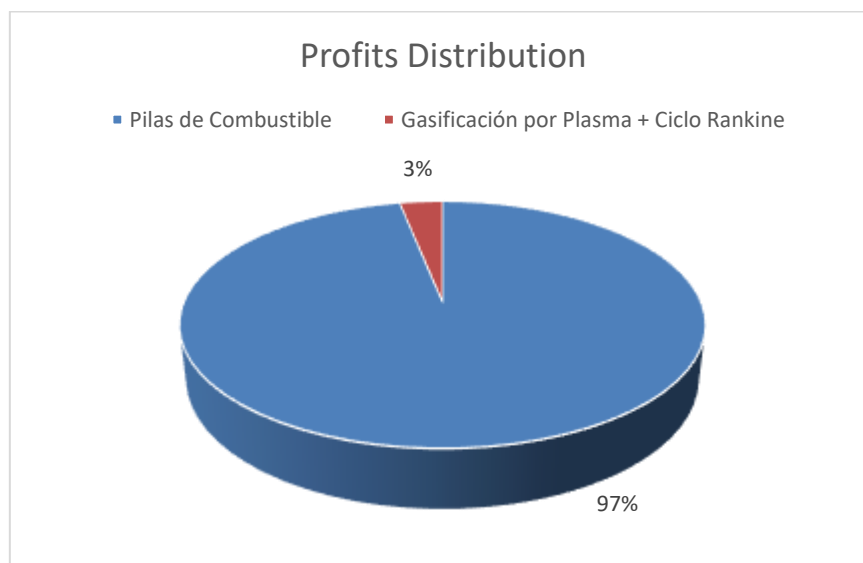
recovers the heat produced during gasification and converts it into electrical energy which is fed into the grid.

In the same way, fuel cells are used, in which hydrogen obtained from plasma is used. With fuel cells, a renewable and manageable energy carrier is achieved. It is therefore achieved alongside previously installed energy sources:

MICROGRID GENERATION	
NON MANAGEABLE	
SOURCE	POWER (MW)
Wind	15.18
Photovoltaic	87.87
TOTAL (MW)	103.05

MICROGRID GENERATION	
MANAGEABLE	
SOURCE	POWER (MW)
Cogeneration	119.81
Biomass	21.00
Hydraulics	68.71
Plasma Gasification	2.00
Fuel Cell	80.00
TOTAL (MW)	291.52

With all that has been mentioned, it is possible to achieve great profitability throughout the useful life of the different installations, reaching a total profit in 25 years of 414.76 million euros, being distributed:



Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	7
1.1 Motivación del proyecto.....	7
1.2 Objetivos	8
1.3 Alineación con los ODS	9
Capítulo 2. Tecnologías Implicadas.....	13
2.1 Microrred.....	13
2.1.1 Origen.....	13
2.1.2 Definición	14
2.2 Gasificación por Plasma.....	16
2.2.1 Definición	16
2.2.2 Plasma.....	17
2.3 Pilas de Combustible.....	17
2.3.1 Definición	17
2.3.2 Tipos de Pilas de Combustible	18
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	20
3.1 Ejemplos de Microrredes.....	20
3.1.1 Microrred de la isla del Hierro	20
3.1.2 Microrred de Brooklyn.....	22
3.2 Ejemplos Instalaciones de Gasificación por Plasma	23
3.2.1 Planta de Gasificación en Yoshii, Japón.....	23
3.2.2 Planta de Gasificación en Utashinai, Japón.....	25
Capítulo 4. Microrred en Jaén.....	27
4.1 Geografía y Climatología	27
4.2 Generación Eléctrica	29
4.2.1 Contexto Actual	29
4.2.2 Fuentes de Generación.....	31
4.2.2.1 Cogeneración	32
4.2.2.2 Biomasa.....	34
4.2.2.3 Eólica.....	36

4.2.2.4 Hidroeléctrica.....	38
4.2.2.5 Fotovoltaica.....	40
4.3 Demanda Eléctrica	43
Capítulo 5. Valorización Energética de Residuos: Solución	45
5.1 Definición y Actualidad	45
5.2 Técnicas de Tratamientos de Residuos.....	46
5.2.1 Vertederos Controlados.....	46
5.2.2 Incineración.....	49
5.3 Residuos	51
5.3.1 Definición	51
5.3.2 Residuos Sólidos Urbanos.....	53
5.3.3 Residuos Agrícolas.....	56
5.3.4 Residuos Forestales.....	58
5.3.5 Recapitulación y Energía	59
Capítulo 6. Gasificación por Plasma	61
6.1 Proceso	61
6.1.1 Pretratamiento de los Residuos.....	61
6.1.2 Horno de Plasma.....	62
6.1.3 Resultado.....	63
6.2 Recuperación Energética del Calor	64
Capítulo 7. Pila de Combustible.....	66
7.1 Almacenamiento Hidrógeno.....	66
7.1.1 Gas a Presión	67
7.1.2 Hidrógeno Líquido	68
7.1.3 Hidruros Metálicos.....	68
7.2 Selección de la Pila y Tanque de Almacenamiento.....	69
Capítulo 8. Implantación de la Microrred.....	72
8.1 Tecnología.....	72
8.2 Estudio económico	75
8.2.1 Planta de Gasificación por Plasma.....	75
8.2.2 Pilas de Combustible.....	77

<i>Capítulo 9. Conclusiones.....</i>	<i>79</i>
<i>Capítulo 10. Bibliografía.....</i>	<i>80</i>
<i>ANEXO I: Plantas Generación en Provincia de Jaén.....</i>	<i>82</i>
<i>ANEXO II: Catálogo Pila de Combustible.....</i>	<i>86</i>

Índice de figuras

Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente ONU).....	10
Figura 2. Principales ODS del Proyecto (Fuente ONU).....	12
Figura 3. Curva de la Demanda Eléctrica en Verano (Fuente REE).....	13
Figura 4. Esquema Microrred Genérica (Fuente: Voltimum)	15
Figura 5. Esquema Proceso Gasificación por Plasma Genérico (Fuente: S.W.H. Group)..	16
Figura 6. Pila de Combustible Genérica (Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno).....	18
Figura 7. Central de Gorona del Viento (Fuente: Gorona del Viento El Hierro, S.A.).....	21
Figura 8. Esquema Agentes Brooklyn Microgrid (Fuente: Brooklyn Microgrid).....	22
Figura 9. Esquema del Gasificador por Plasma de la Planta de Yoshii (Fuente: Westing House Plasma)	24
Figura 10. Instalación de Gasificación por Plasma de la Planta de Utashinai (Fuente: Westing House Plasma)	25
Figura 11. Localización de Jaén (Fuente: Google Maps).....	27
Figura 12. Paisaje Mediterráneo Continentalizado en Jaén (Fuente: 20 Minutos).....	28
Figura 13. Mapa Sistema Eléctrico de Provincia de Jaén (Fuente: Agencia Andaluza de la Energía)	31
Figura 14. Esquema Planta de Cogeneración Genérica (Fuente: Solarnews)	32
Figura 15. Eficiencia Cogeneración	33
Figura 16. Esquema Generación Eléctrica con Biomasa (Fuente: Kern SD).....	35
Figura 17. Aerogeneradores Operativos (Fuente: Acciona).....	36
Figura 18. Central Hidroeléctrica de Aldeadávila (Fuente: Iberdrola).....	38
Figura 19. Planta Fotovoltaica del Romero Solar (Fuente: Diario Renovables).....	41
Figura 20. Vertedero Controlado de Callús (Fuente: Gestora de Runes del Bages)	47
Figura 21. Planta Incineradora (Fuente: Lionel Bonaventure [Getty Images]).....	49
Figura 22. Economía Circular (Fuente: Generalitat Valenciana)	52
Figura 23. Generación Residuos por Persona Kg (Fuente: Eurostat).....	53
Figura 24. Composición RSU en España (Fuente: Statista).....	54
Figura 25. RSU Producidos por Municipio de Jaén (Fuente: Junta de Andalucía).....	55

Figura 26. Evolución Masa Residuos Agrícolas (Fuente: Junta de Andalucía)	57
Figura 27. Línea de Secado y Triturado (Fuente: Geording)	61
Figura 28. Funcionamiento Reactor de Plasma (Fuente: Youtube).....	62
Figura 29. Resumen Etapas Planta Gasificación por Plasma (Fuente: CONAMA).....	64
Figura 30. Esquema Ciclo Rankine (Fuente: ICAI)	65
Figura 31. Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform (Fuente: Hydrogenics).....	69
Figura 32. Tanque de Almacenamiento HBond – 7000 H (Fuente: LabTech)	70
Figura 33. Reparto Generación Eléctrica	73
Figura 34. Generación según Fuente	74
Figura 35. Distribución Beneficios.....	78

Índice de tablas

Tabla 1. Tabla Tipos de Pilas de Combustible (Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno).	19
Tabla 2. Tabla Comparativa de Energía Eléctrica Renovable (Fuente: Agencia Andaluza de la Energía).....	30
Tabla 3. Tabla Potencia Instalada por Cogeneración	34
Tabla 4. Tabla Potencia Instalada por Biomasa	35
Tabla 5. Tabla Potencia Instalada de Parques Eólicos	37
Tabla 6. Tabla Potencia Instalada de Centrales Hidroeléctricas	40
Tabla 7. Tabla Potencia Instalada de Plantas Fotovoltaicas	43
Tabla 8. Tabla Vertederos Controlados Jaén Provincia (Fuente: Junta de Andalucía)	48
Tabla 9. Tabla Composición RSU de la Ciudad de Jaén (Elaboración Propia)	56
Tabla 10. Tabla Residuos Agrícolas de Jaén (Elaboración Propia)	58
Tabla 11. Tabla Residuos Forestales de Jaén (Elaboración Propia).....	59
Tabla 12. Tabla Residuos Orgánicos de Jaén (Elaboración Propia).....	59
Tabla 13. Tabla Composición Química Syngas (Fuente: TFG Almudena Valenciano)	66
Tabla 14. Tabla Generación No Gestionable Microrred (Fuente: Elaboración Propia).....	72
Tabla 15. Tabla Generación Gestionable Microrred (Fuente: Elaboración Propia).....	73
Tabla 16. Tabla Balance Económico Gasificación por Plasma + Ciclo Rankine (Fuente: Elaboración Propia).....	76
Tabla 17. Tabla Balance Económico Pilas de Combustible (Fuente: Elaboración Propia)	78

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

En los últimos años, en España han ido aumentando considerable los costes de generación eléctrica, pasando de ser una de las más baratas de Europa a las más caras, consecuencia de la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico. En esta, se distinguía en régimen ordinario y especial, priorizando la implantación de energías renovables no gestionables. Además, se suma que, en la actualidad, el precio que paga el consumidor por la energía renovable no se corresponde con los costes de generación reales.

Una posible solución a partir de la cual se podría reducir ese precio es a través del uso de una energía renovable y gestionable, empleando residuos orgánicos como materia prima, del que extraer hidrógeno. Del hidrógeno, mediante pilas de combustible, se conseguiría producir energía eléctrica, teniendo un recurso renovable, como la energía eólica y fotovoltaica, pero sumándose el factor de ser la energía a partir del hidrógeno gestionable.

Se basa el empleo de residuos biomásicos en que, la Unión Europea, exige el cierre de todos los vertederos controlados de los países miembros para 2030, como consecuencia de la contaminación que producían en el ambiente. Es por ello por lo que se deberá estudiar los vertederos existentes en Jaén.

Se aprovecharán, de todos los residuos que acaban en estos vertederos, los residuos sólidos urbanos, agrícolas y forestales; como materia prima con la cual obtener hidrógeno.

Para dicho objetivo, a los residuos se les debe someter a un proceso de gasificación por plasma (gas ionizado a alta temperatura). Aquí, se encuentran iones que, al someterlos a altas velocidades, rompen las moléculas en elementos más primitivos. Si se trata de una sustancia orgánica, se descomponen fundamentalmente en hidrógeno y carbono.

Además, se debe contar también con una turbina de gas en un ciclo Rankine. Mediante la turbina de gas, se recupera el calor producido en la gasificación, transformándolo en energía eléctrica que se inyecta en la red.

De la misma manera, se utilizan pilas de combustible, en las que se usa el hidrógeno obtenido del plasma. Con las pilas, se consigue un soporte de energía renovable y gestionable.

1.2 OBJETIVOS

Se tratará de presentar la viabilidad, tanto económica como energética de un sistema de generación distribuida en la provincia de Jaén, aprovechando los residuos sólidos orgánicos. Para ello, se debe ejecutar un análisis certero sobre los puntos a seguir, entre los que destaca la siguiente secuencia:

- Estudio de los datos de demanda eléctrica para el territorio en cuestión en un momento determinado, el cual será la base sobre la que se basará el proyecto.
- Análisis de las diversas fuentes de energía para satisfacer la demanda.
- Estudio del nivel de residuos generados en la provincia de Jaén, de acuerdo con la realidad y estimaciones del entorno.
- Análisis de una instalación de gasificación por plasma, así como su posible instalación a una microrred que trabaje para Jaén.
- Estudio de las pilas de combustible, así como del uso del combustible extraído de las plantas anteriores, con las que se pueda tener una energía renovable y gestionable.
- Estudio económico de las acciones que se han descrito con el objeto de conocer la utilidad de lo enunciado.

1.3 ALINEACIÓN CON LOS ODS:

De acuerdo con la situación en la que se encontraba el planeta en diversos marcos que afectan a la vida de cualquier ser humano, desde la ONU, en el año 2015, se generó una ruta con la que tratar de paliar las desigualdades que existen a nivel global. Este compromiso contraído con la sociedad a nivel global fue reflejado a través de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Estos, se definen por la Organización de las Naciones Unidas como objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible [1]. Todo ello, en un marco que pretende alcanzar la viabilidad de estas en un intervalo próximo a 15 años.



Figura 1: Objetivos de Desarrollo Sostenible (Fuente ONU)

Dentro del proyecto que se va a ejecutar, centrado en la recuperación energética a través de residuos biomásicos con los que extraer hidrógeno para, emplear este elemento como combustible dentro de un sistema de generación renovable y gestionable; destaca la consecución de diferentes Objetivos de Desarrollo Sostenible de manera directa o indirecta, tal como se describe a continuación.

En el ámbito social, destaca la supremacía del Objetivo número 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles. Es a través de este con el que se pretende alcanzar metrópolis más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles.

Se destaca la aplicación de dicho objetivo al presentar un papel principal en el proyecto, con el objetivo de reducir la polución producida en las centrales cuyo combustible no es de carácter renovable, con el fin de aproximarse a la agenda 2030.

Asimismo, se encuadra a la perfección, la implementación del sistema de recuperación energética, al coincidir con las metas 11.6, en la que se manifiesta la obligación en la disminución de los gases de efecto contaminante sobre la sociedad; la 11.a o la 11.b. En estas dos últimas, se fomenta el crecimiento social, económico y cultural empleando recursos que inviten a la sostenibilidad, así como reducir los riesgos en el uso de los recursos naturales [2].

Siguiendo en el marco principal que abordan los ODS, se encuadra a la perfección el Objetivo 12 dentro de la dimensión económica. Se centra en garantizar las formas de consumo respetando la sostenibilidad del entorno. Todo ello, se presenta a través de los antecedentes que reportan datos sobre los residuos generados por los humanos en el campo de los desechos procedentes de comida (1300 millones de toneladas); consumo eficiente (se evitaría el gasto de 120.000 millones de dólares americanos en dicha nación), etc.

Por lo descrito, fomentando el consumo de kilómetro cero, al mismo tiempo que la eficiencia energética y economía circular, se podría llegar a encontrar la igualdad entre consumo y producción. Este problema no es solo significativo en países occidentales, sino que, en

naciones en vías en desarrollo, con necesidad de rápida evolución, muestran ineficiencias en diversos sectores [3].

Por lo tanto, satisfacer a una microrred con un sistema de generación cuya materia prima provenga de los residuos sólidos orgánicos en un territorio no solo facilitaría la desaparición de vertederos controlados y de otra índole; sino que también ayudarían a reducir el precio de la energía y ayudaría, consecuencia de lo que se ha mencionado, a la proliferación de posiciones laborales verdes.

Por último, se ha de estudiar, con un papel secundario, la implementación del Objetivo 13 dentro de este proyecto, abordando la dimensión basada en la biosfera de este. Se define bajo el lema de trabajar en la adopción de las medidas necesarias para aplacar, no solo al cambio climático, sino también los efectos adversos que ya se manifiestan en la actualidad.

En este sentido, siendo la referencia tanto el Acuerdo de París, como los niveles medidos anualmente de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (2019 como año pico desde que se realizan mediciones), la aparición de una tecnología que facilite la generación distribuida renovable y sostenible se manifiesta como claro vector energético que solventa el inconveniente de otras fuentes renovables como la fotovoltaica o la eólica. Estas, pese a su gran utilidad e implementación, no son fuentes gestionables, que, pese a reducir notablemente la generación de emisiones en los momentos en los que hay incidencia solar o viento; no se puede seleccionar el momento en el cual actúen [4].

Por ello, como ventaja que presenta la instalación que se busca diseñar, a través del proceso de gasificación por plasma, destaca la posibilidad de utilizar la materia prima (hidrógeno) en pilas de combustible que, más adelante, pueden emplearse en ciclos combinados.



Figura 2: Principales ODS del Proyecto (Fuente ONU)

Capítulo 2. TECNOLOGÍAS IMPLICADAS

2.1. MICRORRED:

2.1.1 ORIGEN:

En el sistema eléctrico actual, existen ineficiencias que buscan ser solucionadas en vías de mejorar la gestión. Entre estas, se encuentra la distancia que existe actualmente entre los generadores y el consumidor final, con las consiguientes pérdidas en la red. Se debe a que, las centrales de generación eléctrica, desde el punto de vista de la rentabilidad económica, han sido ubicadas de manera preferente en zonas más próximas a, donde está la materia prima o, donde se espere que llegue.

Además, en relación con lo que se ha mencionado, esta generación ha de ir en sintonía con la demanda real, con el fin de tratar de generar lo requerido cuando se llega a grandes picos de necesidad de consumo (en los que se encarece el precio de la energía), así como no llegar a estados valle de la curva, en los que el desperdicio de electricidad es considerable.

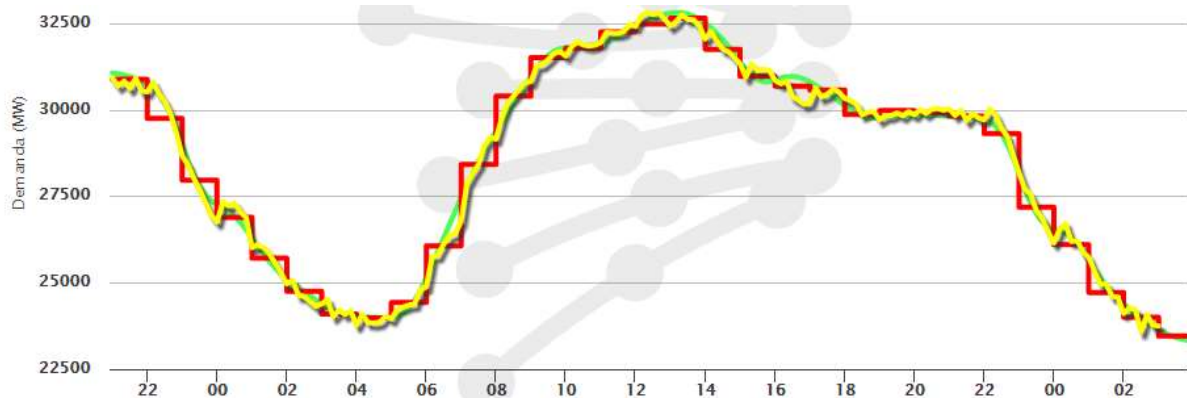


Figura 3: Curva de Demanda Eléctrica en Verano (Fuente REE)

Dentro de estos generadores, destaca la presencia, sobre todo en los últimos años, de alternativas de carácter renovable, las cuales, además de no aportar gases de efecto invernadero y abaratar el valor de la energía producida, no están presentes siempre. Como consecuencia, se sigue necesitando de fuentes energéticas que estén presentes siempre que se necesitan.

Es ante este clima de necesario cambio ante el cual una actualización del sistema eléctrico tiene que surgir, planteándose el concepto de las redes inteligentes de pequeño tamaño: las microrredes [5].

2.1.2 DEFINICIÓN:

Se define a una microrred como un sistema eléctrico direccional, es decir, en el cual los grupos generadores y consumidores no desempeñan en todo momento el mismo rol, formado por una serie de elementos determinados. Entre estos, se debe subrayar la presencia de generadores distribuidos, como pilas de combustible; sistemas de almacenamiento, como contenedores de hidrógeno, en los que se almacenará el hidrógeno extraído del proceso mencionado con anterioridad; y cargas.

Asimismo, este conglomerado de agentes característicos deberá actuar como un sistema único y gestionable, satisfaciendo las necesidades de esta mediante la utilización de tecnologías de comunicación, como la fibra óptica; de información, como el Big Data, Machine Learning o el Internet de las Cosas; así como la electrónica de potencia, medio mediante el cual los agentes pueden modificar su papel.

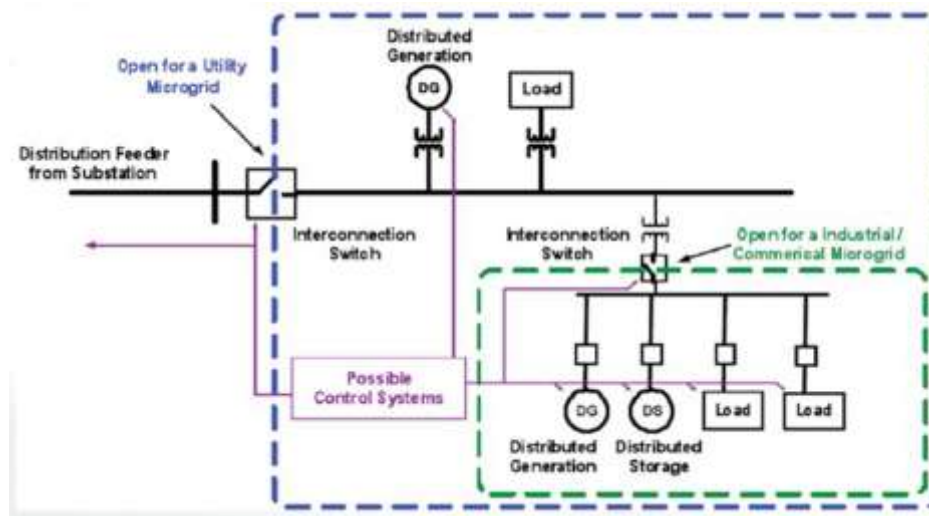


Figura 4: Esquema Microrred Genérica (Fuente: Voltimum)

Como consecuencia de lo que se ha descrito previamente, las microrredes presentan claras ventajas frente al modelo eléctrico actual. Estas residen principalmente en que esta estructura inteligente permite, no solo mayor eficiencia al estar consumidores y generadores más próximos entre sí; sino que, también, favorecen la implantación de fuentes renovables (gestionables o no gestionables). Con ello, se logra la reducir la emisión de gases de efecto invernadero y abaratar el coste del precio de la luz, resultado de no requerir de materias primas caras.

Todo este clima de trabajo implementado impulsa a las microrredes a ser sistemas que aumentan la fiabilidad y seguridad del suministro, pudiendo servir de apoyo a la red nacional en momentos de problemas de estabilidad. Para ello, la microrred pasa a adquirir el rol de servicio auxiliar con el que facilitar la recuperación ante incidencias [6].

2.2. GASIFICACIÓN POR PLASMA:

2.2.1. DEFINICIÓN

La gasificación por plasma es un proceso de valorización energética a partir de un tratamiento térmico, en el que se rompen las moléculas de los residuos biomásicos, dando lugar a un gas ionizado a alta temperatura respetuoso con el medio ambiente.

Para ello, se necesita que un gas inerte fluya a lo largo de un campo eléctrico generado a partir de dos electrodos, entre temperaturas de operación que se encuentran en los 3000°C. Todo ello, en vistas a que se emplee como fuente calorífica la propia del plasma, para producir un gas formado principalmente por monóxido de carbono e hidrógeno, además de escoria inerte, normalmente vitrificada, en forma de residuo sólido [7].

De este gas ionizado a alta temperatura, se produce el hidrógeno, al ser este la fuente energética que será utilizada en pilas de combustible y ciclos combinados, dando lugar a una materia prima renovable y gestionable con la que satisfacer parte de la demanda eléctrica.

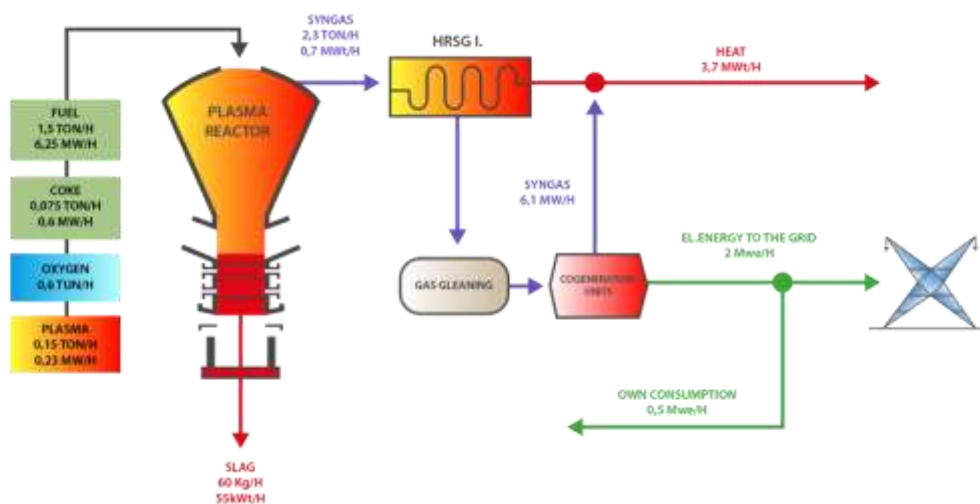


Figura 5: Esquema Proceso Gasificación por Plasma Genérico (Fuente: S.W.H. Group)2.2

2.2.2. PLASMA

Además de ser el vector energético para el proyecto, el plasma es en su definición un gas conductor, pues como ya se ha mencionado con anterioridad, se encuentra altamente ionizado. Se origina gracias a una diferencia de tensión al introducir un fluido gaseoso a lo largo de un arco eléctrico.

Este arco eléctrico será el que determine qué clase de plasma es con el que se estará operando, distinguiéndose entre plasma de arco transferido y el no transferido. Este primero, se caracteriza porque el material empleado es uno de los dos electrodos, mientras que, en el segundo, el arco salta entre los electrodos, generando un dardo de plasma.

Con ello, el dardo presenta la misión de entregar la energía necesaria para romper las moléculas orgánicas de residuos biomásicos (el combustible que se busca almacenar), y materia fundida que más adelante se vitrifica.

2.3. PILAS DE COMBUSTIBLE:

2.3.1. DEFINICIÓN

La pila de combustible es un elemento electroquímico mediante el cual se produce una energía eléctrica a partir de hidrógeno. Para dicho proceso, es necesario la presencia de combustible a partir del cual realizar una reacción química; y una sustancia que facilite la combustión de otras. En este caso, se empleará para el papel del primer indicador el hidrógeno extraído del proceso de gasificación por plasma, mientras que, como comburente, oxígeno.

Con todo ello, se genera un marco de trabajo en el cual, tras actuar los agentes implicados, se da lugar a energía eléctrica (en la forma de corriente continua), calorífica y agua.

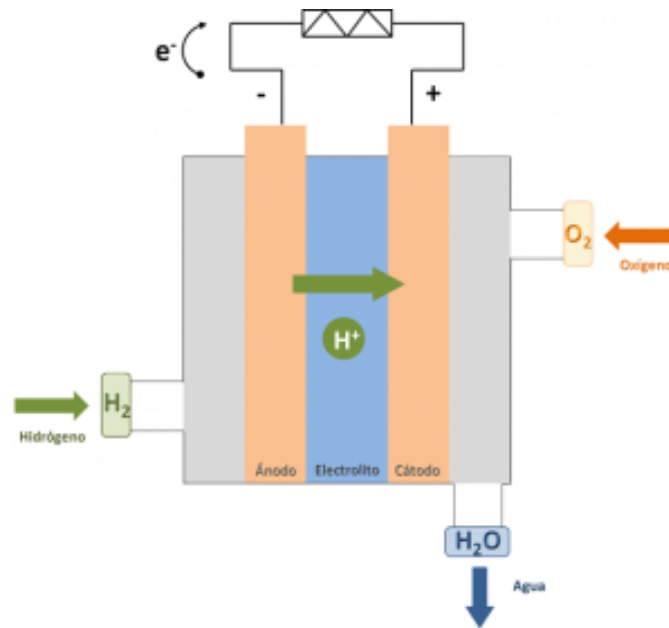
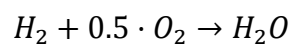


Figura 6: Pila de Combustible Genérica (Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno)

Tal como se observa en la Figura 10, la pila de combustible presenta distintas partes, entre las que destacan:

- Electrodo. En esta parte se distingue de manera clara entre el ánodo, lugar en el cual una molécula de hidrógeno (H_2) se reduce en dos protones; y el cátodo, donde el oxígeno reacciona con los protones procedentes del ánodo.
- Electrolito. Sustancia encargada de la separación de los gases, facilitando el flujo de partículas de carga positiva de hidrógeno al cátodo y disociando los electrones.
- Placas bipolares. Elemento que se encarga de, dividir a los diferentes agentes mencionados previamente, guiar a los gases hacia aquella posición que les corresponda, y extraer el H_2O originado resultado de las reacciones químicas.



Con todos los agentes que se han descrito, se consigue explicar de manera secuencial qué sucede en la pila de combustible a la hora de generar energía eléctrica. Para ello, el hidrógeno, localizado de manera inicial en el ánodo, se divide molecularmente. Los protones se dirigen al cátodo, obligando a los electrones a reubicarse en un circuito externo.

Es el resultado de este movimiento forzado el que da lugar a la generación eléctrica. Esto se debe a la reacción química que sucede al transportar los protones del ánodo al cátodo a través del catalizador, en la que, como residuo, se produce H₂O en estado líquido o vapor.

2.3.2. TIPOS DE PILAS DE COMBUSTIBLE

La división entre las diferentes pilas de combustible reside en el tipo de electrolito que emplean, que se encuentran definidos a la perfección por la Tabla 1, elaborada por el Centro Nacional del Hidrógeno [8].

	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 1: Tabla Tipos de Pilas de Combustible (Fuente: Centro Nacional del Hidrógeno)

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

En este capítulo, se comentará acerca de proyectos reales ya existentes tanto de microrredes como instalaciones de gasificación por plasma, al ser las tecnologías que se tratarán de integrar en la provincia de Jaén. Todo ello, en un marco fijado dentro de la innovación y búsqueda de implementar lo ya conocido.

3.1. EJEMPLOS MICRORREDES:

3.1.1. MICRORRED DE LA ISLA DEL HIERRO:

El Hierro, isla ubicada en el suroeste de las Islas Canarias, que cuenta con una población de 10500 habitantes; es un claro ejemplo de microrred. No obstante, presenta una diferencia frente a la que se busca implantar en este proyecto, al ser completamente autónoma.

Este hecho significa que no cuenta con el apoyo de la red nacional ante posibles faltas, pero se mantiene como una microrred a analizar, al estar sustentada durante la mayor parte del tiempo por la generación de carácter renovable.

La demanda eléctrica pico que se alcanza en un día se encuentra próxima a los 8 MW, mientras que los periodos valles diarios, alrededor de los 4 MW. Para satisfacer esta demanda, antaño se empleaban nueve equipos diésel de 11.3 MW de potencia instalada. Sin embargo, en 2014, se estrenó una central hidroeléctrica que se encarga de satisfacer la gran parte de la demanda: la Central de Gorona del Viento.



Figura 7: Central de Gorona del Viento (Fuente: Gorona del Viento El Hierro, S.A.)

Esta, está formada por un parque eólico con cinco aerogeneradores, de 2.3 MW cada uno; y una central hidroeléctrica reversible de 11.32 MW. Este mix energético ofrece una actuación rentable (desde el punto de vista energético) al usar, en periodos donde la generación es mayor que la demanda, la energía eficientemente. El motivo reside en que, el excedente generado por las turbinas eólicas es almacenado gracias a la instalación hidroeléctrica.

Para ello, el exceso energético de los aerogeneradores es empleado para el bombeo hidráulico, transportando agua de un depósito a otras aguas arriba, con el fin de que esta misma, en intervalos de tiempo de escasez de viento o donde los aerogeneradores, únicamente, no sean capaces de satisfacer la demanda; sea turbinada aguas abajo.

Con esta microrred, se consigue no consumir 1.5 toneladas de combustible diésel, así como no emitir más de 3 toneladas de dióxido de carbono, resultado de la generación no renovable [9].

3.1.2. MICRORRED DE BROOKLYN:

Un paso más allá del caso presentado en el archipiélago canario se puede dar también con microrredes que trabajen en isla de manera puntual y que, sobre todo, operen con conexión a la red. De esta forma, la red inteligente se asocia al sistema global actuando, según las condiciones en las que se encuentre en cada momento, como un nodo consumidor o como un generador distribuido.

Con ello, se logra aportar robustez a sistemas que carecen de dicha condición, ya sea por posibles fallos de índole ambiental o fallos provocados durante operativas, como en operaciones de desconexión, reenganche, etc.

Es por los motivos que se han comentado, por lo que, consecuencia de la falta de suministro provocados por el huracán Sandy, se crea la Brooklyn Microgrid. Esta, es una microrred formada en su totalidad por generadores fotovoltaicos instalados en los techos de los vecinos de este barrio neoyorquino.



Figura 8: Esquema Agentes Brooklyn Microgrid (Fuente: Brooklyn Microgrid)

Mediante esta, nace una microrred en la que se interconecta la generación y consumo del vecindario, originando un mercado entre los mismos donde, a través de un soporte telemático vía aplicación móvil o web, se puede vender o comprar electricidad. Todo ello, con la seguridad en los procesos al emplear la tecnología blockchain, con la que las transacciones quedan registradas y visibles.

Con este sistema se consigue, no solo, como ya se ha mencionado, dar seguridad al suministro; sino también aportar un abaratamiento en el coste de la factura de la luz, al ser un agente activo del sistema energético cada vivienda del vecindario. Se debe a que, según el momento del día o necesidades, podrá formar parte del mix energético de generadores o bien, consumir la energía producida [10].

3.2. EJEMPLOS INSTALACIONES DE GASIFICACIÓN POR PLASMA

3.2.1. PLANTA DE GASIFICACIÓN EN YOSHII, JAPÓN:

Pertenece a la empresa de Westing House Plasma, esta es planta centrada en la valorización de residuos sólidos urbanos, basada en la tecnología de gasificación por plasma desarrollada por la misma compañía.

Fue construida y puesta en marcha en 1999, por Hitachi Ltd., en Yoshii, Japón. El proyecto se desarrolló con el fin de ofrecer una solución a los inconvenientes causados por dioxinas, cenizas y la recuperación energética de muchas plantas de incineración de residuos en la nación nipona.

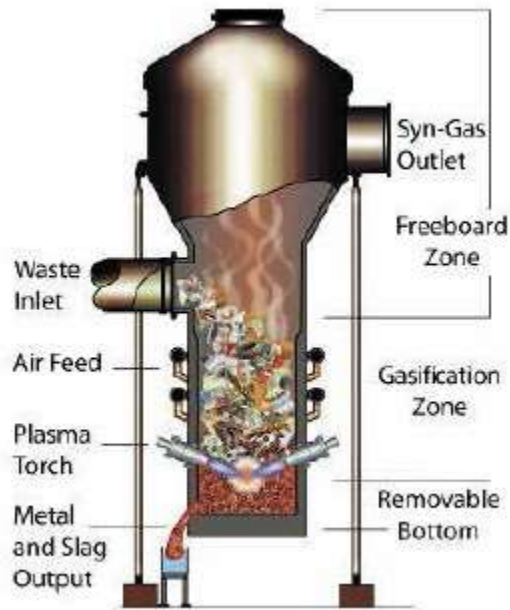


Figura 9: Esquema del Gasificador por Plasma de la Planta de Yoshii (Fuente: Westing House Plasma)

La planta procesa 24 toneladas por día de residuos sólidos urbanos, produciendo hidrógeno para uso industrial. Con todo ello, los resultados conseguidos han sido muy positivos, al encontrar rentabilidad real en el proceso. Además, se ha reducido considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero de la zona.

De la misma manera, en forma de residuo de la acometida, se genera escoria. Esta, es un producto vítreo con valor dentro del sector de la construcción [11].

3.2.2. PLANTA DE GASIFICACIÓN EN UTASHINAI, JAPÓN:

La planta de gasificación por plasma de Utashinai, es otro ejemplo más de la tecnología a implementar. La construcción de esta concluyó en 2002, entrando en funcionamiento en 2003.

En el diseño original de la planta se estimó una capacidad de procesado de unas 170 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos y residuos de la trituración de automóviles. A través de estos, se buscaba la generación de un gas de síntesis que se utiliza para generar energía calorífica, además de carbono e hidrógeno.



Figura 10: Instalación de Gasificación por Plasma de la Planta de Utashinai (Fuente: Westing House Plasma)

En 2007, la planta alcanzó la cifra de unas 300 toneladas al día, muy por encima de los objetivos iniciales que se marcaron; generando aproximadamente casi 8 MWh de energía eléctrica. De la energía generada, se llegaron a inyectar unos 4,3 MWh en la red eléctrica nipona.

Con este hito, se logró el principal objetivo buscado: obtener electricidad del residuo sólido urbano de carácter renovable y gestionable. Aunque se llegó al éxito, la planta cerró en 2013. Se debe resaltar que este suceso no fue consecuencia problemas técnicos. Tuvo lugar resultado del crecimiento e implementación del reciclaje de RSU en Japón, eliminando, por ende, la materia prima necesaria para el buen funcionamiento de la instalación [12].

Capítulo 4. MICRORRED EN JAÉN

4.1. GEOGRAFÍA Y CLIMATOLOGÍA:

El lugar poblacional elegido, dentro de España, para la implantación de una microrred con generadores distribuidos, cuyo origen de la materia prima sea de procedencia renovable; es Jaén.

Esta abarca un tamaño de 426 km², estando su extensión lindando con la depresión del río Guadalquivir en uno de sus tramos de la provincia; y la cordillera Subbética, uno de conjuntos montañosos que dan lugar a la cordillera Bética (desde Alicante hasta Gibraltar).

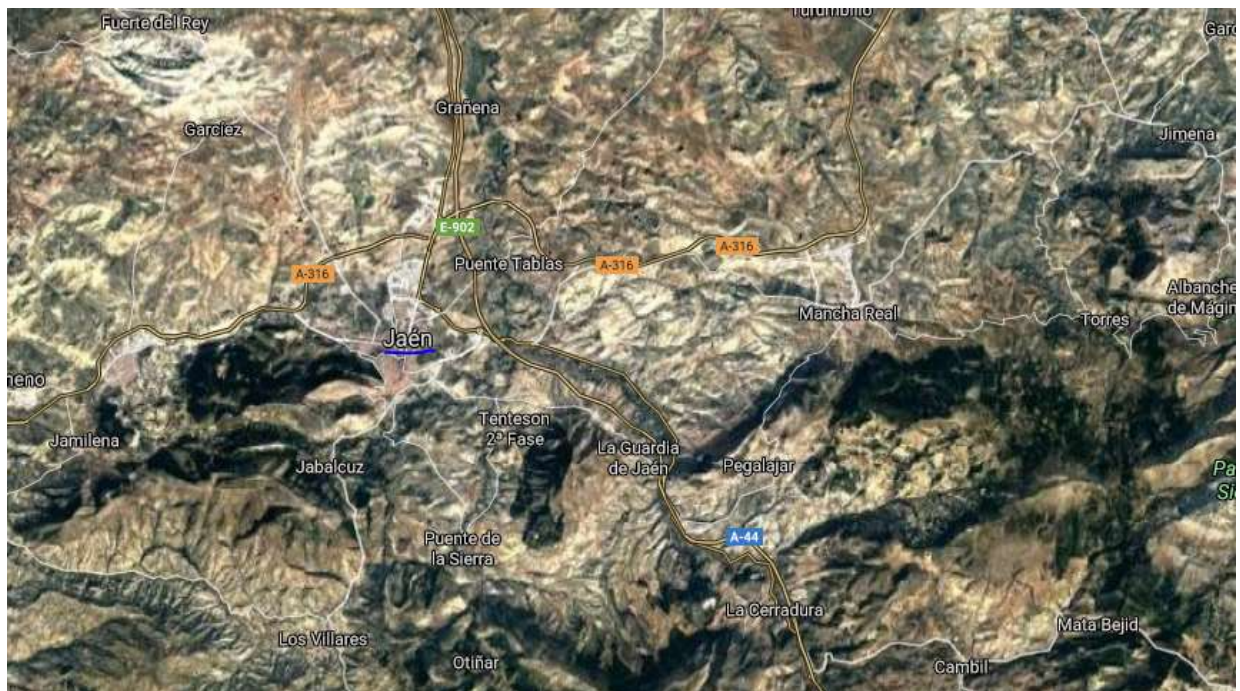


Figura 11: Localización de Jaén (Fuente: Google Maps)

Asimismo, en términos demográficos, Jaén cuenta, con datos censados en el año 2020; con un total de 112757 habitantes, con una densidad poblacional de 269.24 hab/km². Además, la

provincia en su totalidad está habitada por 632027 personas, siendo, por ende, la capital uno de los mayores núcleos poblacionales (aproximadamente un sexto de la población total).

En cuanto a la climatología de la zona, destaca esta localización de la Península Ibérica por, siguiendo los parámetros de la clasificación de climas de Köppen; por contar con mediterráneo continentalizado. Esta climatología se caracteriza por inviernos moderados, es decir, pocas veces se llegan a alcanzar temperaturas negativas. Además, de manera totalmente opuesta, en verano se alcanzan temperaturas próximas al riesgo extremo por calor, colindantes a los 40°C.

Es por alcanzar estas temperaturas extremas en verano por lo que, Jaén, entra dentro de un clima perfecto para el cultivo del olivo. Con este marco de referencia, las lluvias se concentran, de manera predominante, durante los periodos de primavera y otoño [13].



Figura 12: Paisaje Mediterráneo Continentalizado en Jaén (Fuente: 20 Minutos)

4.2. GENERACIÓN ELÉCTRICA:

En vistas de alcanzar la implementación de una microrred en Jaén, con ayuda de generación distribuida, se encuentra en la actualidad dominada por generadores de energía renovable no gestionable. Por ello, se genera una oportunidad propicia para implantar plantas de generación por plasma, de las que obtener hidrógeno a partir del tratamiento de residuos biomásicos.

Para ello, se analizará la situación de Jaén en la actualidad, así como parte de su pasado, con el fin de profundizar en qué tipo de generación existe en un radio de 50 kilómetros y el tipo de energía en su procedencia (todos los datos extraídos de la Agencia Andaluza de la Energía).

4.2.1. CONTEXTO ACTUAL:

A lo largo de lo vivido durante el siglo XXI, en la comunidad autónoma andaluza, se han tratado de implementar, dentro del marco del sector eléctrico, la construcción de centrales cuya materia prima fuera de origen renovable, así como plantas de cogeneración.

Al contrario de la Comunidad Autónoma, en la provincia jiennense, se ha distinguido siempre dentro de Andalucía, por contar con plantas cuya fuente fuese de origen no renovables. Tal es así que, en el marco de la energía hidráulica, cuenta con una potencia instalada de 212.22 MW en un total de 23 plantas, representando esta el 56.6% del total de la generación renovable de la provincia.

Asimismo, con datos actualizados a finales de 2020, la provincia de Jaén cuenta con una generación total de fuentes renovables de 375.19 MW, creciendo desde comienzos de siglo más de un 60%.

En el ámbito de la innovación, Jaén es líder en la generación y, por ende, consumo, de energía procedente de biomasa. Para ello, cuentan con un total de 3 centrales con una potencia total de 37 MW. Esto, se logra gracias al empleo de las ramas de olivo y los desechos de los huesos y orujillo.

Es en este contexto y gracias a los datos referentes a los residuos donde va adquiriendo cada vez más profundidad la construcción e implantación de una planta de gasificación por plasma, donde tratar residuos biomásicos de los que extraer el hidrógeno, tal como se expondrá en los capítulos venideros.

	JAÉN	ANDALUCÍA	ESPAÑA
Potencia Eléctrica Renovable (MW)	370.6	7215.8	49066.3
Energía eléctrica renovable generada (producción bruta) (GWh)	596	13367.3	97888
E.E. generada renovable/ consumo final (%)	21.4	39	41.6
Consumo primario energía renovable /consumo energía final total para uso energético (%)	31.9	30.2	20.9
Calidad de suministro (h)	1.61	1.34	1.14

Tabla 2: Tabla Comparativa de Energía Eléctrica Renovable (Fuente: Agencia Andaluza de la Energía)

4.2.2. FUENTES DE GENERACIÓN:

Tras haberse introducido de manera general las tecnologías, se centrarán los subpartados en el análisis de cada tecnología implicada en la provincia, así como la potencia que esta puede llegar a inyectar en la red.

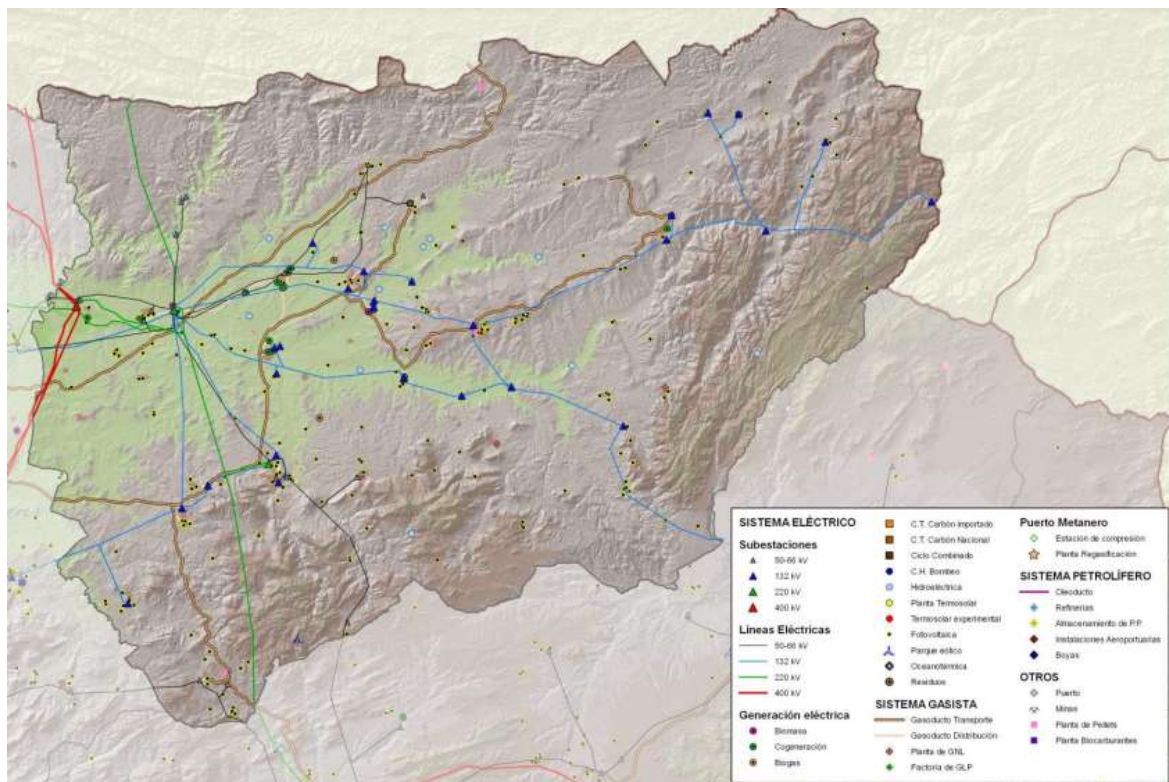


Figura 13: Mapa Sistema Eléctrico de Provincia de Jaén (Fuente: Agencia Andaluza de la Energía)

4.2.2.1. COGENERACIÓN:

La cogeneración es aquel proceso en el que se genera, simultáneamente, energía eléctrica, o mecánica, además de ser la energía calorífica liberada en el proceso, empleada o consumida para otros fines (no es desechada). Este tipo de centrales, en su normalidad, suelen estar constituidas por turbinas de gas o vapor, en las que sucede la transformación energética. Para ello, se libera en esta la energía aportada por el combustible, pasando a tener mecánica y calor.

Esta energía mecánica, mediante la acción y/o efecto de un alternador, se convierte en energía eléctrica. El calor, se emplea para recuperación de vapor de agua y otro tipo de fluidos. Pese a no ser una energía renovable al uso, consecuencia de sus bajas emisiones, no se la puede encajar dentro de las no renovables y contaminantes [14].

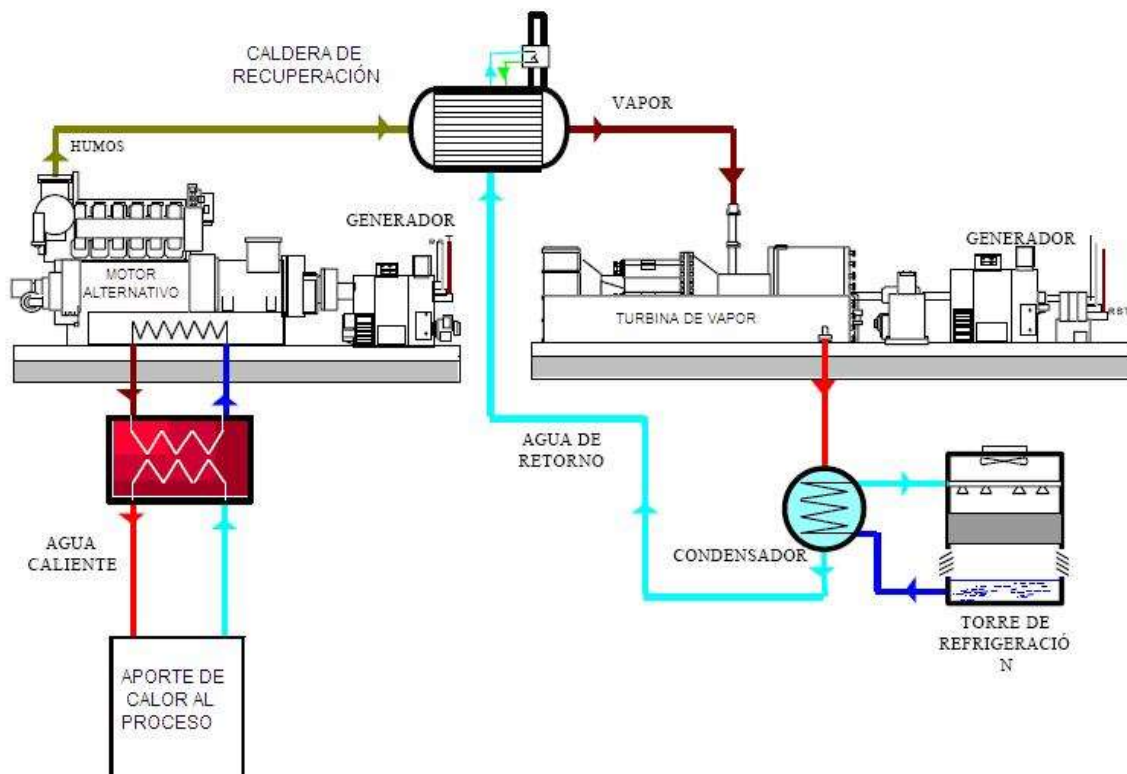


Figura 14: Esquema Planta de Cogeneración Genérica (Fuente: Solarnews)

La existencia de plantas de cogeneración se manifiesta en el medio ambiente al conseguir reducir los niveles de contaminación respecto a ciclos combinados que se emplean en la actualidad. Asimismo, gracias al calor que se libera en la reacción, se reduce el gasto en combustibles fósiles.

De la misma manera, se debe subrayar que los equipos destinados a la implementación de la cogeneración aprovechan que el rendimiento de esta clase de centrales es mayor que el de equipos convencionales por separado. Esto, se puede analizar con claridad, gracias a la Figura 19, extraída de los apuntes de la asignatura de Centrales y Subestaciones Eléctricas, impartida por Matías Juan Sánchez Mingarro:



Figura 15: Eficiencia Cogeneración

En particular, la provincia de Jaén cuenta con 16 plantas de cogeneración de potencia instalada que se sitúa en torno a los 175.50 MW. No obstante, de ellas, para la realidad de la microrred en Jaén, no se valorarán aquellas más lejanas de 50 kilómetros respecto al núcleo urbano de la capital jiennense:

CENTRALES COGENERACIÓN JAÉN		
NOMBRE	LOCALIDAD	POTENCIA (MW)
Cerámica MALPESA 3	Villanueva de la Reina	0.99
Compañía Energética Linares	Linares	24.99
C.E. Puente del Obispo	Baeza	24.80
BECOSA 2 (Mengibar, S.A.)	Mengibar	3.60
Smurfitt kappa (Alabe Mengibar)	Mengibar	24.70
Santo Rostro Generación	Bailén	0.92
Andaluza de Cogeneración, S.A. (ANCOSA)	Bailén	1.84
Cerámica La Unión	Bailén	0.48
GALEY Cogeneración	Bailén	1.60
Cerámicas de Alcalá Villalta, S.A.	Bailén	0.96
Cogeneración de Andújar (COANSA)	Andújar	19.63
Compañía Energética de Jabalquinto (CEJABAL)	Jabalquinto	15.30
TOTAL (MW)		119.81

Tabla 3: Tabla Potencia Instalada por Cogeneración

4.2.2.2. BIOMASA:

Será también a partir de esta materia a partir de la cual se tenga la fuente para la infraestructura de gasificación por plasma. Se usa aquella procedente del residuo sólido del olivo, siendo la materia predominante el orujo, orujillo, poda de olivo y la hoja.

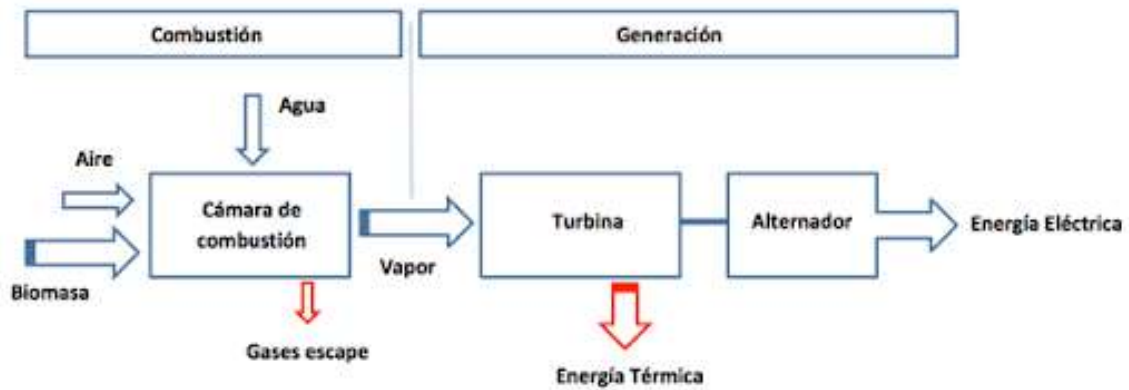


Figura 16: Esquema Generación Eléctrica con Biomasa (Fuente: Kern SD)

Con este marco, la provincia de Jaén es la tercera, dentro de Andalucía, en generar a partir de dicho combustible orgánico, contando con un total de 37 MW de potencia instalada en la región. No obstante, de acuerdo con el radio de 50 kilómetros con el que imponer la microrred, se contará con menor potencia instalada:

CENTRALES BIOMASA JAÉN		
PLANTA	LOCALIDAD	POTENCIA (MW)
Aldebarán Energía del Guadalquivir	Andújar	6.00
Bioenergética de Linares	Linares	15.00
TOTAL (MW)		21.00

Tabla 4: Tabla Potencia Instalada por Biomasa

4.2.2.3. EÓLICA:

Para comprender bien el funcionamiento de esta energía, se debe partir del concepto de viento y cómo se produce. Resultado de la incidencia solar desigual por el territorio terrestre, existen focos más calientes y otros más fríos. Es en las zonas de mayor temperatura donde, el conjunto de partículas gaseosas que forma el aire tiende a dirigirse de forma ascendente.

Con ello, se origina una diferencia de presiones, puesto que en estas zonas a donde el aire trata de dirigirse, se originan bajas presiones. Al contrario, en aquellos lugares más fríos, se produce un descenso y, por ende, mayor presión.

Es el aprovechamiento de estos movimientos mediante el cual se genera la energía eléctrica. Para ello, un aerogenerador ejecuta una transformación desde la energía cinética del viento en electricidad. Destaca por considerarse una fuente segura y eficiente.

Estos aerogeneradores suelen estar localizados a una altura acotada entre 80 y 120 metros desde donde se instale (factor determinante la fuerza y predominio del viento en la ubicación). Como consecuencia, siempre se instalan en conjunto, con el fin de obtener el mayor rendimiento de la localización.



Figura 17: Aerogeneradores Operativos (Fuente: Acciona)

Además, este tipo de máquinas se tienen que orientar en dirección del viento. No obstante, resultado de la evolución tecnológica, mediante sensores instalados en una veleta ubicada en la góndola; estará siempre en la posición óptima.

Tras una posición perfecta para comenzar la operativa, los flujos de viento ponen a trabajar las tres partes más características del aerogenerador:

- Rotor, cuya misión principal es la de atrapar la fuerza del viento para transformarla en energía mecánica rotacional.
- Multiplicadora, con la que se logra alcanzar la frecuencia de la red, es decir, llegar a velocidad de sincronismo (1500 rpm).
- Generador, cuya aparamenta es la misma que la de un alternador y que, por ende, es la que completa el proceso dando lugar a la electricidad.

Como colofón al proceso, todas las máquinas eléctricas se unen mediante cables bajo tierras con el fin de alcanzar una subestación próxima que distribuya e inyecte la potencia en la red [15].

En cuanto a la provincia de Jaén, esta fuente energética ha aumentado de manera considerable en los últimos años, produciéndose entre 2003 y 2013 un aumento del 700%. En la actualidad, dentro de un radio de 50 kilómetros respecto a Jaén ciudad, cuenta con una planta de 15,18 MW de potencia instalada.

CENTRALES EÓLICAS JAÉN		
PARQUE	LOCALIDAD	POTENCIA (MW)
Sierra del Trigo	Noalejo	15.18
TOTAL (MW)		15.18

Tabla 5: Tabla Potencia Instalada de Parques Eólicos

4.2.2.4. HIDROELÉCTRICA:

La transformación de la fuerza del agua en electricidad es a lo que se le denomina energía hidroeléctrica. Con el fin de optimizar esta fuente de generación, se edifican grandes instalaciones, donde obtener el mejor de los rendimientos siempre es la máxima. Se debe el motivo del rendimiento a que es la energía renovable líder en el ámbito del almacenamiento de la materia prima a utilizar.

En este tipo de centrales, se suelen distinguir tres entidades distintas que, a su vez, son claves para que se entienda el funcionamiento de estas:

- Presa, es la estructura de hormigón que soporta la fuerza del fluido. Suelen ser de grandes dimensiones.
- Embalse, lugar en el cual se encuentra el fluido estancado (normalmente agua). Actúa como batería, al almacenar la materia prima.
- Central, en la que se encontrarán los alternadores encargados de la generación eléctrica y donde, para el diseño, se tendrá en cuenta la altura y caudal de fluido.



Figura 18: Central Hidroeléctrica de Aldeadávila (Fuente: Iberdrola)

Con ello, la generación proviene del salto de agua que tiene lugar desde el punto más alto de la presa hasta otro de menor altura. El fluido es conducido a través de un circuito donde, cuanto mayor es la diferencia de cotas, mayor es la energía potencial y, por ende, la que se va transformando en cinética antes de llegar el agua a perturbar la turbina.

La turbina hidráulica, de manera homóloga al aerogenerador, convierte dicho movimiento causado por el flujo másico de fluido en energía mecánica, para que, en último lugar, el alternador la transforme en electricidad.

De esta manera, lo único que se hace en relación con el caudal de agua, es controlar el avance de este en el río, volviendo a este una vez se produce la generación eléctrica. Asimismo, estas centrales son las más rentables en la actualidad, pues cuentan con un rendimiento colindante al 95% [16].

En cuanto a Jaén, esta tecnología no está tan desarrollada (respecto al resto de España) consecuencia del tipo de clima propio de la región. Además, se suma que dichas acumulaciones de agua son destinadas para propio consumo humano y consumo en el ámbito agrícola, pues este uno de los que más riqueza aporta a Jaén.

Sin embargo, pese a estos hechos, sí que existen centrales hidroeléctricas, siendo de Andalucía la que cuenta con mayor cantidad de plantas. Esto es permitido por la geografía de la provincia, con numerosos sistemas montañosos que la recorren. Por ello, se emplazan en Jaén 23 instalaciones con 212.22 MW de potencia instalada (32.6% del total de la Comunidad Autónoma).

No obstante, al estar cerca de las cordilleras y otros conjuntos rocosos, la gran parte de estos no sería posible adaptarlos a una microrred que tenga una distancia máxima respecto a la Capital de 50 kilómetros, siendo las centrales para tener en cuenta:

CENTRALES HIDROELÉCTRICAS JAÉN		
CENTRAL	LOCALIDAD	POTENCIA (MW)
Encinarejo	Andújar	8.32
Jándula	Andújar	15.00
Valtodano	Andújar	3.15
Pedro Marín	Baeza	13.20
Mata Bejid	Cambil	0.20
Salto de San Rafael	Espeluy	3.20
Arquillos	Ibros	1.44
CH Giribaile	Ibros	20.00
Mengibar	Jabalquinto	4.20
TOTAL (MW)		68.71

Tabla 6: Tabla Potencia Instalada de Centrales Hidroeléctricas

4.2.2.5. FOTOVOLTAICA:

La energía procedente del Sol, la fotovoltaica, es la que se obtiene al transformar la incidencia solar en energía eléctrica. Este tipo de fuente de generación es de gran interés, al ser la materia prima infinita y dar la posibilidad de no ser solamente necesarios grandes huertos solares, sino que también tienen cabida para el autoconsumo.

El concepto de esta tecnología reside en el efecto fotoeléctrico, aquel en el que, de acuerdo con las condiciones que presentan unos materiales, tienen la habilidad estos mismos de atrapar los fotones, liberando la carga negativa y, por ende, produciendo electricidad.

No obstante, para que esto sea posible, se ha de utilizar lo llamado como celda fotovoltaica, que tiene que contar con algún tipo de componente semiconductor en su capa. Los materiales más comunes para emplear suelen ser derivados del silicio, teniendo unos rendimientos en la generación eléctrica de:

- Silicio monocristalino: de un 18% a un 20%.
- Silicio policristalino: de un 16% a un 17.5%.

- Silicio amorfo: de un 8% a un 9%.



Figura 19: Planta Fotovoltaica del Romero Solar (Fuente: Diario Renovables)

Asimismo, dentro de este grupo de generación, es importante saber diferenciar los dos claros agentes que existen. Se diferencian por estar, actualmente, conectados o no con la red general:

- Central fotovoltaica, donde toda la electricidad generada es inyectada en la red global.
- Autoconsumo, donde la energía es directamente consumida a muy poca distancia de la fuente de generación. Solo será vertido el sobrante no consumido sobre la red, una vez se haya cubierto la demanda actual del propietario o, no requiera de la energía producida en dicho momento.

Además, común a estos dos grupos de generación, se debe explicar cómo es la estructura física que permite lo que se ha comentado previamente:

- Paneles, análogo a la celda fotovoltaica.
- Inversores, encargados, gracias a la electrónica de potencia, de pasar de corriente continua a alterna.

- Transformadores, que tienen el papel fundamental de actuar como elevadores de tensión, al estar categorizada como de baja tensión la generada de manera directa en los paneles fotovoltaicos [17].

En cuanto a Jaén, se ha ido promoviendo, sobre todo, la instalación de fuentes de generación distribuidas. Para ello, se han ido mimetizando tanto con paisajes urbanos en edificios, institutos, etc.; como en instalaciones privadas. Esto es de gran utilidad dentro de la microrred en Jaén, con el fin de que exista un flujo constante y de generación distribuida entre los habitantes de la ciudad.

Dentro de este marco, Jaén ya cuenta con 1.072 MW de potencia instalada de este tipo de energía, estando detallado que instalaciones la componen en el Anexo I. Además, en este mismo anexo se exponen todas las centrales que quedan fuera del radio elegido para la microrred.

A nivel de instalaciones fuera de las urbes, Jaén cuenta con una potencia instalada de huertos solares de 108.50 MW, lo que supone, junto al dato aportado anteriormente, al 4.10% de la potencia fotovoltaica instalada en Andalucía.

Sin embargo, de acuerdo con la geografía del terreno y, como resultado de que la Agencia Andaluza de la Energía no haga pública la ubicación de dichas plantas de generación fotovoltaica; se realiza la hipótesis de que el 80% de la potencia instalada entrará en la microrred, resultando [18]:

POTENCIA FOTOVOLTAICA INSTALADA JAÉN	
TIPO	POTENCIA (MW)
Generación Distribuida	1.07
Centrales	86.8
TOTAL (MW)	87.87

Tabla 7: Tabla Potencia Instalada de Plantas Fotovoltaicas

4.3. DEMANDA ELÉCTRICA:

Para llegar a dimensionar una microrred para la ciudad de Jaén en la que existan diversos generadores operando de manera distribuida y cooperativa, es necesario conocer aquellos momentos en los que se alcanzan picos en la generación eléctrica.

También, pese a poder ser garantizada ya con las tecnologías existentes, se debe tener en consideración que las únicas fuentes gestionables cuyas emisiones sean nulas, son las centrales hidroeléctricas y, en mucha menor medida, las centrales de biomasa. Como reserva, siempre quedan las centrales de cogeneración, que, pese a estar dentro del tipo de centrales de la ruta verde del Gobierno nacional, siguen produciendo gases contaminantes de efecto invernadero.

Es aquí donde juega un papel fundamental la implantación y construcción de plantas de gasificación por plasma con las que dar soporte a la microrred. Al ser las principales centrales de energías renovables no gestionables (solar, de manera principal); sin un *backup* real para días con escasa incidencia lumínica, se podría considerar de desastroso.

Por ello, pese a lo opacidad que se encuentra en la búsqueda de dichos datos, sí que se han podido hallar datos esclarecedores con los que enfrentarse a esta problemática. Se debe resaltar que, la provincia de Jaén se encuentra en un movimiento generalizado bajista en el consumo eléctrico [19].

Como consecuencia de la opacidad que existe para encontrar valores pico de generación y consumo energético en la ciudad de Jaén, se opta por realizar una estimación, teniendo de referencia alguna ciudad española con condiciones semejantes. En este sentido, entran ciudades que cuenten con actividad laboral semejante, con la cual llegar a hacer una extrapolación.

En este sentido, si se basa esta hipótesis en la ciudad de Cuenca, con una población superior a los 50000 habitantes, se observa un consumo pico en torno a los 40 MWh en un momento dado (dato basado en el Trabajo de Fin de Grado de Almudena Valenciano) [20].

Por ello, para la ciudad de Jaén, se implementará una microrred con la cual abastecer una demanda máxima de 80 MW. Además, de acuerdo con el pico nacional durante un día laboral de junio, la proporcionalidad respecto al nivel de población queda también en torno a la cifra estipulada.

Capítulo 5. VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS: SOLUCIÓN

5.1. DEFINICIÓN Y ACTUALIDAD:

Se define la valorización energética de los desechos en forma de residuos al método que se desee emplear para la destrucción de residuos mediante la acción y efecto de una fuente de energía.

Se debe resaltar que este tipo de procesos no se caracterizan por concluir con la existencia de la materia prima introducida (para el caso a tratar, residuos sólidos urbanos, forestales y agrícolas de Jaén). Este método de tratamiento térmico genera residuo, el cual, en vistas a implementar economía y gestión sostenible, debe ser utilizado en otros ámbitos.

En la actualidad, se están originando y desarrollando diferentes técnicas de uso de los residuos desde un enfoque térmico, las que se comentarán posteriormente. Sin embargo, de acuerdo con la evolución de la tecnología en el tiempo, existen unos tratamientos de valorización energética más implementados que otros. No obstante, este hecho no significa que sean más eficientes o innovadores que otros.

La que se considera como la más establecida es la incineración. Pese a la utilidad que ha podido tener esta técnica en el pasado, en la actualidad, se prima por fomentar otro tipo de métodos de valorización energética (gasificación por plasma, pirólisis...). Todo ello, consecuencia de no contar con buena aceptación social [21].

5.2. TÉCNICAS DE TRATAMIENTOS DE RESIDUOS:

En este apartado se comentarán las diferentes técnicas de valorización energética de residuos que existen en España, así como los vertederos controlados. Pese a ser este último un proceso biológico, se deberá comentar y subrayar, pues es la sustitución de estos por plantas de gasificación por plasma la que motiva el proyecto.

La argumentación previa reside en diversos comunicados que se han ido realizando desde Bruselas con el objeto de acabar con este tipo de instalaciones, que pueden acabar contaminando seriamente parte del entorno, con el fin de ser sustituidos por tecnologías innovadoras.

Asimismo, también se dedicará su espacio al resto de tratamientos térmicos que aparecen en el marco nacional, con el fin de llegar a analizar y comprender en mayor medida cual es la situación actual del ambiente que rodea a la población española y, sobre todo, de Jaén.

5.2.1 VERTEDEROS CONTROLADOS:

Los vertederos son complejos en los que tiene lugar la deposición de residuos orgánicos en excavaciones superficiales o subterráneos, para que, con el paso del tiempo, se descompongan con el fin de que fermenten los gases. Estos, pueden ser de temporalidad variante, estando los residuos de manera temporal o, bien sino de forma permanente.

No obstante, se debe destacar que, de acuerdo con la legislación vigente, no está permitido el vertido de cualquier tipo de materia en dichos vertederos, tal como la ampara la Ley 22/2011 y la Directiva Marco de Residuos. Solamente está permitido como último recurso con materias que, hoy en día, no se les contemple un nuevo ciclo en el cual implementar sus servicios en la sociedad.

Con ello, entran en este abanico de posibilidades aquellos materiales que no sean aptos para ser reciclados o con alternativas de reutilización. Sin embargo, se comenten errores en los procesos, por los que, finalmente, acaban residuos que no debería ser este su punto final.



Figura 20: Vertedero Controlado de Callús (Fuente: Gestora de Runes del Bages)

Dentro de este marco de definición de vertedero genérico, con el cual tener el contexto suficiente, además de necesario, se puede definir en qué consiste un vertedero controlado. Este destaca por tener una impermeabilización completa del suelo y paredes del depósito donde se acumularán los residuos de cualquier índole. De la misma forma, cuentan con canalización de los líquidos lixiviados (alto componente contaminante) y sistemas de tuberías con los que se coge el biogás producido en el interior.

No obstante, tal como se mencionó previamente acerca del tipo de residuos que se suele almacenar en este tipo de instalaciones, así como su correcta deposición; sucede de forma parecida con el bloqueo de los fluidos lixiviados. Estos, gran contaminador de superficies en caso de entrar en contacto con las mismas, han de ser vigilados con alta precisión. Sin embargo, el sistema falla, dando lugar a que, la mayor parte de los vertederos controlados a nivel nacional se encuentren con que, las zonas colindantes, están contaminadas.

Este por este hecho por lo que, actualmente, no está permitido el vertido sin control de residuos, tal como marcaba antaño la Ley 10/1998 de residuos y, como se actualizó la década pasada a través de la Ley 22/2011, además de estar abocados a su desaparición consecuencia de la Agenda Verde de 2030 [22].

En cuanto a los datos de vertederos controlados que existen en la provincia de Jaén, solo existen datos registrados por fuentes de rigor datados a finales de los años 90 (exactamente, 1998). Se considerarán estos únicamente como vertederos controlados a estudiar, pues, ya que a partir del 2000 la ley comenzó a restringir operaciones de estos, se sobreentenderá que los inversores dejaron de encontrar valor en este tipo de recintos:

VERTEDEROS CONTROLADOS JAÉN PROVINCIA	
UBICACIÓN	RESIDUOS (Tm/año)
Andujar	22 264.9
Chiclana de Segura	33 931.1
Jaén	80 423.3
Linares	40 972.1
Úbeda	33 290.7

Tabla 8: Tabla Vertederos Controlados Jaén Provincia (Fuente: Junta de Andalucía)

No obstante, esta recopilación informativa es únicamente útil para contrastar la presencia de estos emplazamientos dentro de la microrred, siendo los datos reales de residuos sólidos urbanos que se analizarán expuestos a continuación, teniendo en cuenta las plantas a las que son enviados.

5.2.2 INCINERACIÓN:

La incineración consiste en la combustión de la materia entrante, los residuos, de manera controlada. Para ello, químicamente se produce una oxidación de los residuos orgánicos, las cuales se deben encontrar en un clima dominado por el oxígeno, con el fin de que el proceso no sufra por merma de dicho elemento.

Para ello, se debe alcanzar una temperatura aproximada a los 1000°C, siendo la mínima necesaria de 850°C durante, al menos, dos segundos. La energía calorífica liberada durante la combustión se emplea a través de una turbina de vapor anexa a la planta crematoria, aprovechando esto para dar lugar a la energía eléctrica.

Tras esto, lo que antes eran residuos, disminuyen considerablemente su volumen inicial, rebajándolo hasta un 90%, a la vez que su masa decrece hasta el 75% [31]. Sin embargo, pese a estas ventajas y ser el sistema de valorización energética más implantado a nivel nacional, cuenta con un gran inconveniente, desde el punto de vista del ecologismo.



Figura 21: Planta Incineradora (Fuente: Lionel Bonaventure [Getty Images])

Tal como se observa en la Figura 26, las incineradoras expulsan a través de sus chimeneas los gases que se generan como resultado del proceso de incineración. Entre estos, se encuentra el vapor de agua y el oxígeno, no nocivos para el medio ambiente. No obstante, existe también otra parte de estos que sí son de gravedad.

El principal en esta lista es la emisión de dioxinas y furanos que se generan cuando se produce la incineración a bajas temperaturas (600°C aproximadamente). Estos son peligrosos para el ser humano al ser bioacumulables y, por lo tanto, pudiendo facilitar la aparición de cáncer en las personas.

De la misma forma, también, el proceso de combustión generará desecho sólido, elaborado de manera principal por cenizas, escoria y derivados de la depuración atrapadas de los gases de combustión. La energía calorífica que acompaña al fluido gaseoso es introducida en una nueva cámara a continuación de la combustión, la cual es destinada a fines energéticos, ya sea producir electricidad a través de un sistema turbina – alternador o dar lugar al aumento de temperatura de un fluido determinado (agua normalmente) [23].

Por último, destaca que los residuos obtenidos posteriormente de la incineración, al contener materiales peligrosos, no cuentan con un fácil reciclaje y, en la mayor parte de veces, inexistente, con lo que, pese a ser el método de valorización energética más extendido, no es el más aconsejable en vías de cumplir con los Objetivos de 2030 marcado tanto en la Agenda Verde de la Unión Europea como por parte del Gobierno de España, a través del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

5.3. RESIDUOS:

5.3.1 DEFINICIÓN:

De manera habitual, los países con mayor índice de desarrollo humano tienden a generar mayor cantidad de desechos de diferentes materias que aquellos menos desarrollados. Además de este hecho, el tener la capacidad de contar con recursos económicos, permite centrarlos en la optimización de esta materia sobrante, mediante método que se han expuesto con anterioridad.

A este material que ya no se le considera de interés, tras haber contado con el mismo previamente, es lo que se denomina residuo. Se le puede definir de forma más precisa como elemento cuyo objeto es el de ser un desecho o que, de acuerdo con sus condiciones, ha de ser desechado al no poder aportar más al proceso en el que se encuentre.

No obstante, se debe tratar siempre, en orden con alcanzar la implementación de economías circulares y afianzar lo propuesto por la Unión Europea acerca del medio ambiente, se han de gestionar de tal manera que su repercusión sea la menor en el ámbito climático y ambiental.



Figura 22: Economía Circular (Fuente: Generalitat Valenciana)

Los residuos pueden diferenciarse de acuerdo con dos criterios significativos, ya sea según su naturaleza o bien su origen. En relación con el primer criterio, pueden diferenciarse aquellos a los que se les describa con un carácter de peligrosidad tangible; o no peligroso. Para que se sepa a qué conjunto pertenece cada uno, existen normativas europeas que acota el rango de estos.

En torno al origen de los residuos, en los que se presentará un tratamiento u otro, así como un método de recogida diferente, en virtud de donde proceda [25]. En este sentido, tal como se desarrollará en páginas posteriores, los residuos de interés radicarán en los sólidos urbanos, forestales y agrícolas de Jaén.

5.3.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS:

Los residuos sólidos urbanos (RSU) se describen de acuerdo con lo estipulado por el marco jurídico europeo y sus correspondientes normativas. De esta forma, en España se adapta el concepto, siendo este recogido en la Ley de Residuos. Se encuadra al RSU como aquellos desechos que se generan en el ámbito doméstico, comercial, laboral y servicios; es decir, aquellos que se dan dentro de una urbe poblacional sin marca de habitantes mínima o máxima establecida.

Asimismo, también se encuentran bajo la etiqueta de residuo sólido urbano a aquellos que, encontrándose dentro de un metrópoli o población de menor tamaño, se enmarquen en el ámbito del cuidado de zonas verdes, procedencia animal y posible industria u obra que se esté desarrollando.

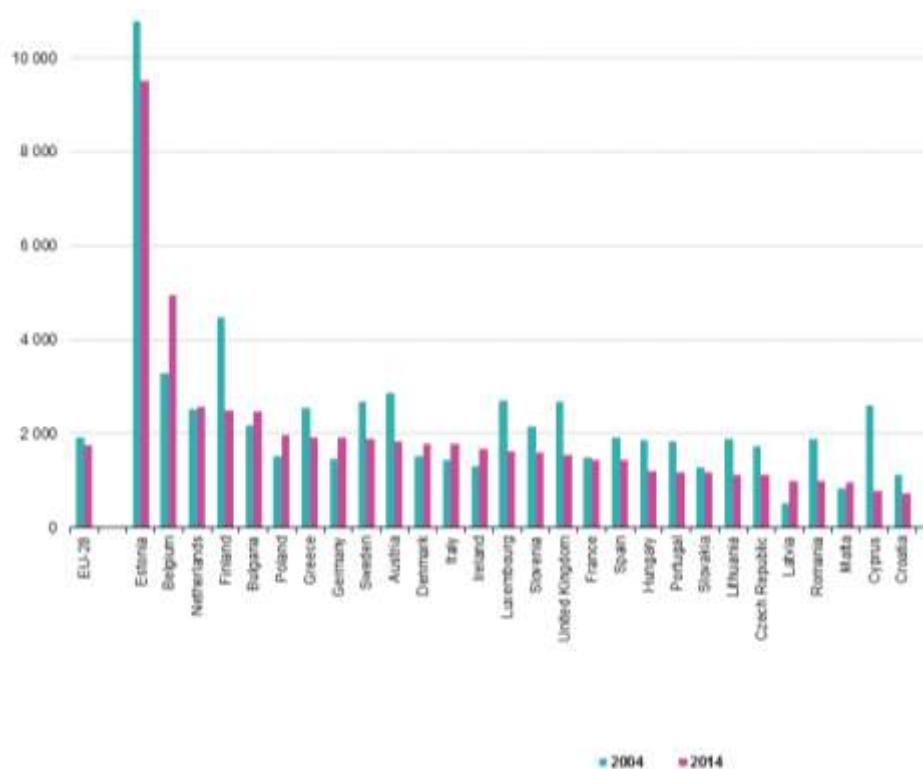


Figura 23: Generación Residuos por Persona Kg (Fuente: Eurostat)

En relación con la Figura 29, donde se observan los datos más actualizados que recoge la Unión Europea, se vislumbra que la media española, por un lado, se encuentra en torno a los 1500 kilogramos emitido por cada ciudadano. Al mismo tiempo, destaca que, dentro de los países miembros de la comunidad europea, España también se encuentra por debajo de la media [26].

Si se prosigue indagando acerca de la cantidad de residuos sólidos urbanos en España, estos se componen en diferentes materias primas, siendo la estructura, según la información emitida Statista:

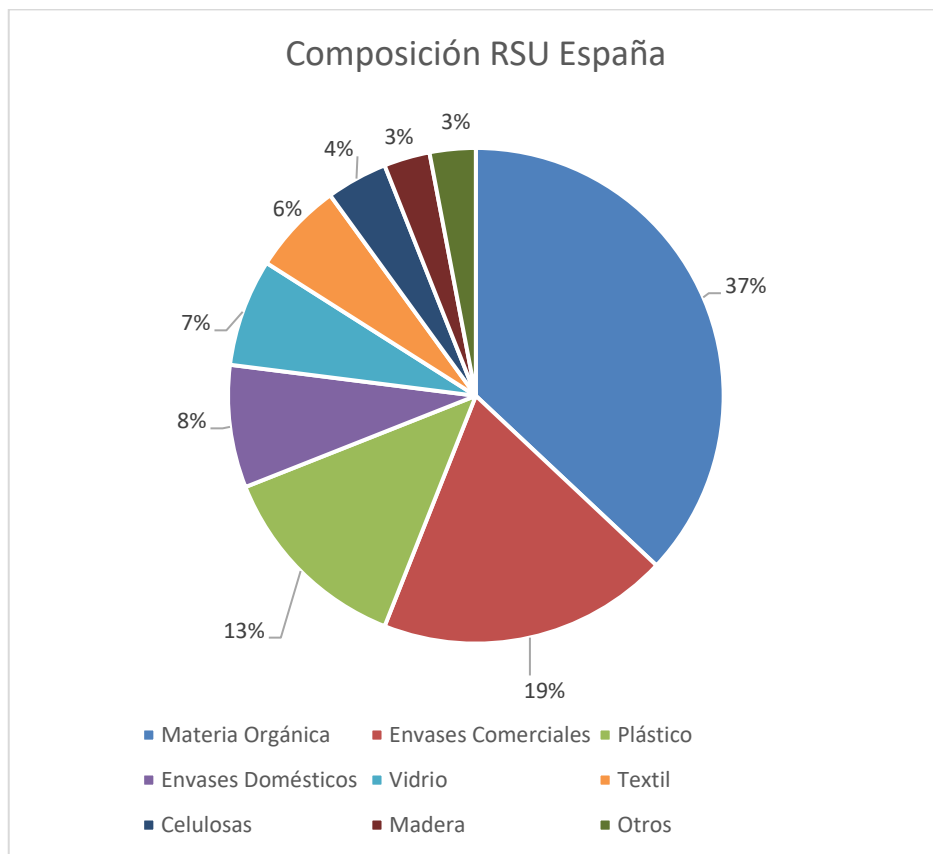


Figura 24: Composición RSU España (Fuente: Statista)

En virtud de los datos extraídos, se analiza cómo, a pesar del desarrollo tecnológico en el que estamos inmersos, todavía el gran porcentaje de residuos procedentes de los núcleos urbanos son de origen orgánico.

Además, consecuencia de que la Junta de Andalucía únicamente publica el dato global de la cantidad de residuos sólidos urbanos recogidos (en toneladas), se aprovecha la información a nivel nacional para extrapolarla a la ciudad de Jaén. En la ciudad, en el último año del cual hay datos registrados, se contabilizaron procedente de la misma la cantidad de 53306 toneladas de residuos sólidos urbanos, siendo la capital líder en este aspecto dentro de la provincia:

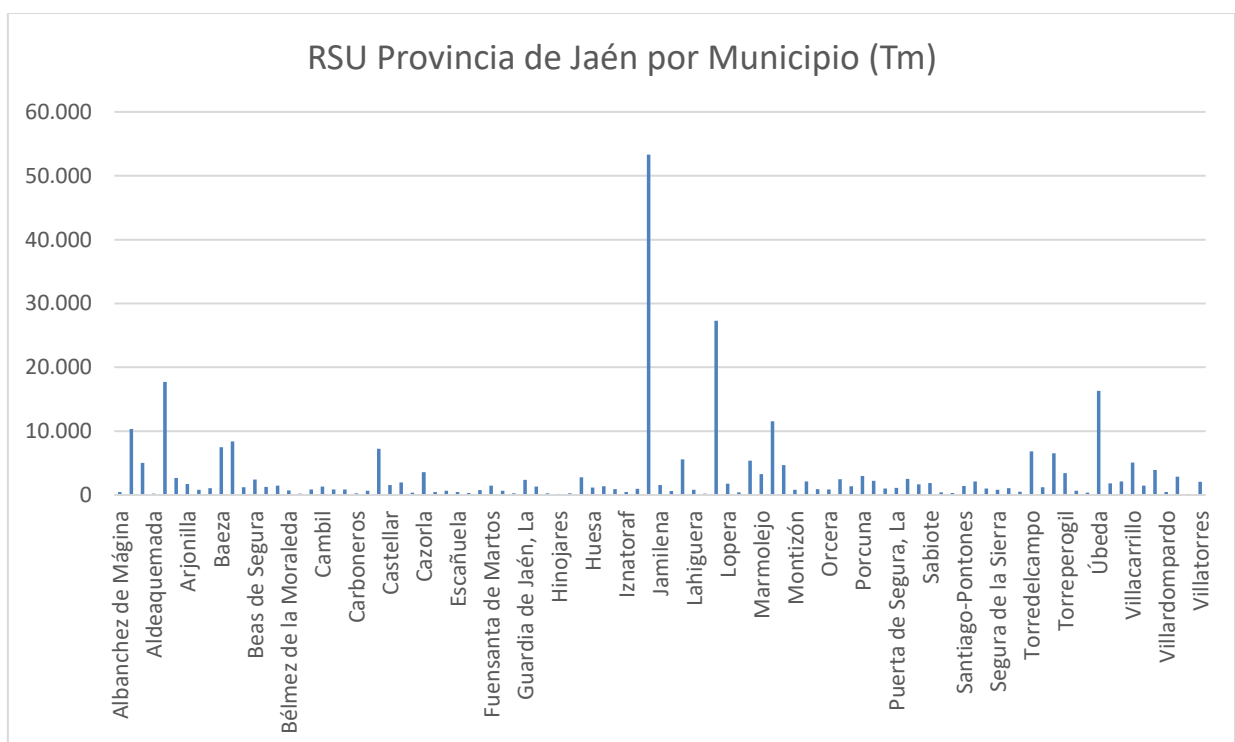


Figura 25: RSU Producidos por Municipio de Jaén (Fuente: Junta de Andalucía)

Por ello, de acuerdo con el desglose de la materia total con la que discernir que cantidad del total será la posiblemente empleada para la futura gasificación por plasma y, por ende, recuperación energética:

COMPOSICIÓN RSU JAÉN CIUDAD (Tm)	
Materia Orgánica	19723
Envases Comerciales	10128
Plástico	6930
Envases Domésticos	4264
Vidrio	3731
Textil	3198
Celulosas	2132
Madera	1599
Otros	1599
TOTAL (Tm)	53306

Tabla 9: Tabla Composición RSU de la Ciudad de Jaén (Elaboración Propia)

Por lo tanto, procedente de la generación de residuos sólidos urbanos, se cuenta con 19723 toneladas de materia orgánica, pues este tipo de desecho el que es rentable para la gasificación por plasma.

5.3.3 RESIDUOS AGRÍCOLAS:

Los residuos agrícolas son aquellos que se generan en el campo en explotaciones destinadas al sector primario. Proviene de aquellas partes de las plantas que bien, por un lado, es necesario retirar con el fin de obtener lo que monetiza: el fruto; o bien por la necesidad de retirar una parte del vegetal por motivo de enfermedad o que ya ha registrado su máxima rentabilidad.

En esta misma línea, también entra dentro de este grupo de residuos aquellos que se encuentran por los campos de cultivo, cuando se aproximan el periodo estival, se recogen con el objeto de que estos mismos no sean la fuente de incendios.

De esta misma forma, esta clase de residuos sólidos orgánicos, solo cuentan con dos caminos reales en los que sobresalgan con superlativo rendimiento. Esto es, que, en caso de no ser empleados para fines energéticos, su único camino de uso sería la propia descomposición en

el campo, para otorgar al suelo nutrientes. Sin embargo, no sería la mejor aplicación, pues abonos tienen esa función, además de más eficiencia.

En este sentido, se pueden diferenciar dos grandes grupos de residuo agrícola en función de la disponibilidad con la que se pueda tener dichos residuos.

- Los residuos temporales, procedentes de agricultura de plantas leñosas o herbáceas.
- Los residuos permanentes, cuyo origen se encuentra en la agricultura industrial en la que, gracias al empleo de invernaderos, se consigue producto fuera de temporada [27].

No obstante, como todo lo que se recoja podrá ser almacenado en un futuro, se puede encontrar residuos procedentes de diferentes fuentes en Jaén. En este sentido, el producto agrícola procederá de cultivos de cereales, forrajeros, industriales (donde se encuentra el desecho del olivo), flores y plantas ornamentales, hortalizas, leguminosas y tubérculos, dando lugar a:

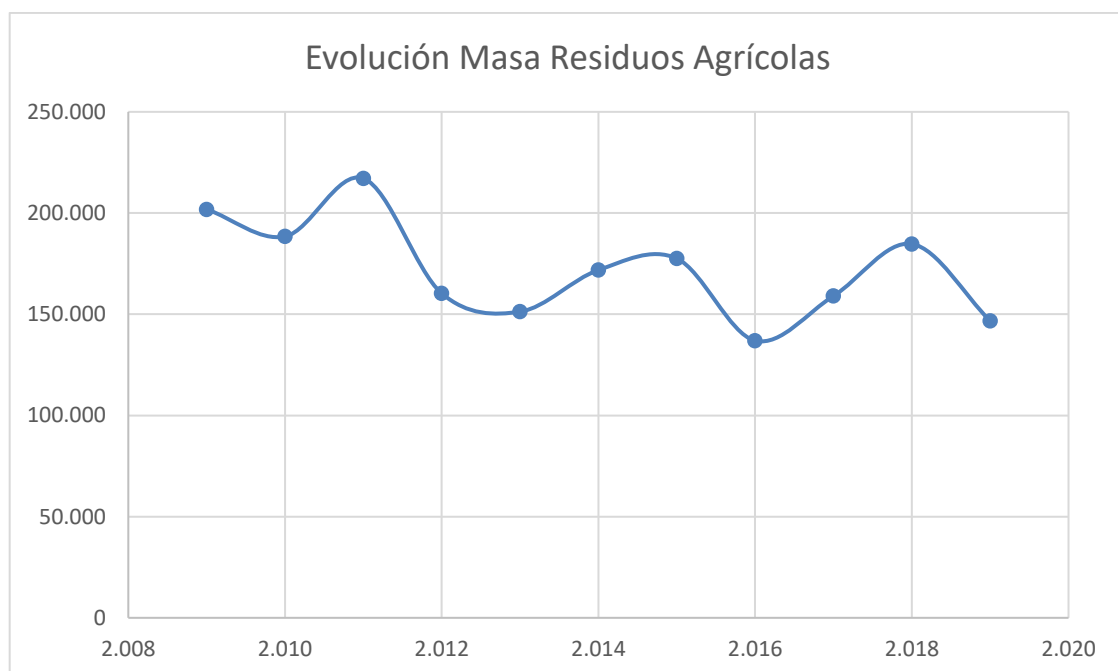


Figura 26: Evolución de Residuos Agrícolas Jaén (Fuente: Junta de Andalucía)

RESIDUOS AGRÍCOLAS JAÉN (Tm)	
2009	201862
2010	188433
2011	217135
2012	160304
2013	151272
2014	171836
2015	177536
2016	136951
2017	159030
2018	184718
2019	146708
MEDIA (Tm)	169264

Tabla 10: Tabla Residuos Agrícolas de Jaén (Elaboración Propia)

En virtud de la evolución de los residuos recogidos con los años, consecuencia de la varianza que presentan, se utilizará el dato de las 169264 toneladas.

5.3.4 RESIDUOS FORESTALES:

Los residuos forestales son los aquellos que proceden de vegetación no gestionada por los humanos con el fin de sacarle un rédito económico. Esta clase de desechos pueden venir tanto de la gestión de espacios como sistemas montañosos o montes; o bien de los residuos que vienen dado por poda de árboles, caídas de ramas consecuencia de desastres naturales, etc [28].

Por ello, puesto que la Junta de Andalucía no cuenta con datos exactos acerca de los residuos forestales generados en la región, se realizará una hipótesis en base a la media nacional en este parámetro, así como los espacios naturales con los que cuenta la provincia. Además, no se olvidará que solo se tendrá en cuenta aquellas ubicaciones a una distancia inferior a 50 kilómetros de la capital jiennense.

RESERVAS NATURALES JAÉN PROVINCIA

NOMBRE	EXTENSIÓN (ha)	RESIDUOS (Tm)
Sierra Mágina	19962	5515
Monte la Sierra	2720	751
Santa Catalina	196,85	54
TOTAL (Tm)		6321

Tabla 11: Tabla Residuos Forestales de Jaén (Elaboración Propia)

Con lo que, de acuerdo lo estipulado, se contarán desde esta fuente con un total de 6321 toneladas de desecho forestal.

5.3.5 RECAPITULACIÓN Y ENERGÍA:

Con todo lo que se ha ido presentando, se llega a que, contabilizando el total de residuos orgánicos obtenidos de las diferentes fuentes:

RESIDUOS ORGÁNICOS (Tm)

PROCEDENCIA	RESIDUOS (Tm/año)
RSU	19723
Agrícola	169264
Forestal	6321
TOTAL (Tm)	195308

Tabla 12: Tabla Residuos Orgánicos de Jaén (Elaboración Propia)

Por lo tanto, en base a la información que manifiesta la Junta de Andalucía, el poder calorífico inferior con el que cuentan los residuos sólidos urbanos es de (en proporción media) de 1500 Kcal/Kg. Mientras tanto, el valor de este parámetro para los de carácter

agrícola y forestal, oscilará alrededor de los 3000 Kcal/Kg, obteniéndose, considerando un reparto uniforme de los recursos durante cada día que comprende un año [29]:

- Residuos Sólidos Urbanos:

$$19723 \text{ Tm/año} \cdot \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} \cdot 1000 \text{ Kg/Tm} \cdot 1500 \text{ Kcal/kg} = 3377226 \text{ Kcal/h}$$

Lo cual es equivalente a un total de 3.93 MW de potencia activa.

- Residuos Agrícolas

$$169264 \text{ Tm/año} \cdot \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} \cdot 1000 \text{ Kg/Tm} \cdot 3000 \text{ Kcal/kg} = 57967123 \text{ Kcal/h}$$

Lo cual es equivalente a un total de 67.42 MW de potencia activa

- Residuos Forestales:

$$6321 \text{ Tm/año} \cdot \frac{1 \text{ año}}{8760 \text{ h}} \cdot 1000 \text{ Kg/Tm} \cdot 3000 \text{ Kcal/kg} = 2164726 \text{ Kcal/h}$$

Lo cual es equivalente a un total de 2.52 MW de potencia activa.

Por tanto, con un flujo constante de residuos, puesto que se almacenarán con el objeto de mantener el suministro, se podría diseñar una planta que, su proceso de valorización energética produjese 73.87 MW de potencia por cada hora.

Capítulo 6. GASIFICACIÓN POR PLASMA

6.1. PROCESO:

La tecnología en sí se expuso en capítulos anteriores. No obstante, se debe comprobar el proceso al cual se le somete a la materia, así como dónde tiene lugar el proceso de recuperación energética, para el cual se seleccionará un ciclo Rankine.

6.1.1 PRETRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS:

Para los residuos caracterizados como biomasa, es decir, los de origen orgánico en los que se buscará exprimir sus componentes con el fin de la obtención de hidrógeno; se deberán someter, en primer lugar, a un pretratamiento en un secadero. Ahí, lo que se busca es reducir su humedad intrínseca, con la que dejar la materia prima en condiciones óptimas.

Del mismo modo, al no contar estos con un tamaño regular, se les procesará, posteriormente el periodo de secado, a un pretratamiento de trituración. Los valores de triturado, en la región de las posibilidades más desfavorable, deberá encontrarse colindante a un tamaño de grano máximo de 30 milímetros [30].



Figura 27: Línea de Secado y Triturado (Fuente: Geording)

6.1.2 HORNO DE PLASMA:

Es en este reactor en el cual tienen las reacciones, así como la formación del plasma primario, el cual deberá ser procesado más adelante. En este, destacan:

- Cracking térmico, que consiste en, en un ambiente condicionado por altas temperaturas de trabajo, se rompen térmica y cinéticamente las partículas que forman la materia prima entrante en un comienzo. Es aquí donde las moléculas se van subdividiendo en otras menores con lo que, que acaban formando parte de un gas volátil. Al mismo tiempo, por la parte más rentable, los componentes de los residuos que en un comienzo estaban compuestos por carbono e hidrógeno, químicamente, se transforman en hidrocarburos e hidrógeno, dando lugar al gas de síntesis.
- El oxígeno que entra a partir de la antorcha en la que se generará el arco eléctrico, es el que origina la aparición de monóxido de carbono, dióxido de carbono y también agua.

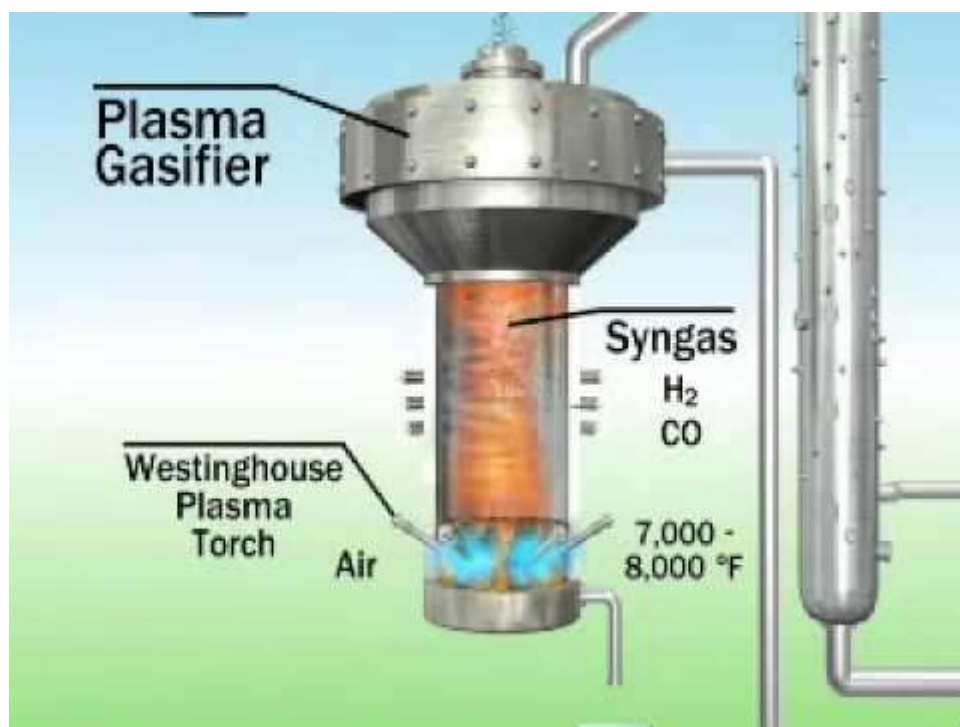


Figura 28: Funcionamiento Reactor de Plasma (Fuente: Youtube)

Este clima de trabajo dominado por altos valores de temperatura provoca la fusión material de carácter no orgánico, que, al después vivir una bajada considerable y rápida de la temperatura, generen una masa de materia vitrificada. Mediante dicha consecuencia de la gasificación, se da lugar a la encapsulación de materias peligrosas. No obstante, otros componentes perduran, debiéndose apartar del gas de síntesis mediante filtros como carbón activo o semejante [31].

6.1.3 RESULTADO:

Una vez concluye la formación del syngas, además de su filtrado a través del carbón activo, se debe disminuir la temperatura con la que este aire altamente ionizado ha abandonado el reactor, así como implementar la cantidad de hidrógeno.

Para llegar a dicho proceso, se le someterá al flujo de fluido gaseoso a una reacción de quench, en la que tiene lugar una reducción de la temperatura en un entorno adiabático; y, de forma continuada, a una reacción de scrubbing. En esta segunda, no solo se eliminan el resto de las impurezas.

Por último, puesto que el dióxido de carbono sigue presente en el fluido gaseoso, debiendo ser el mismo eliminado con el fin de tener un proceso limpio y seguro con el medio ambiente, se procesa una reacción shift, con la que se captura dicho elemento.

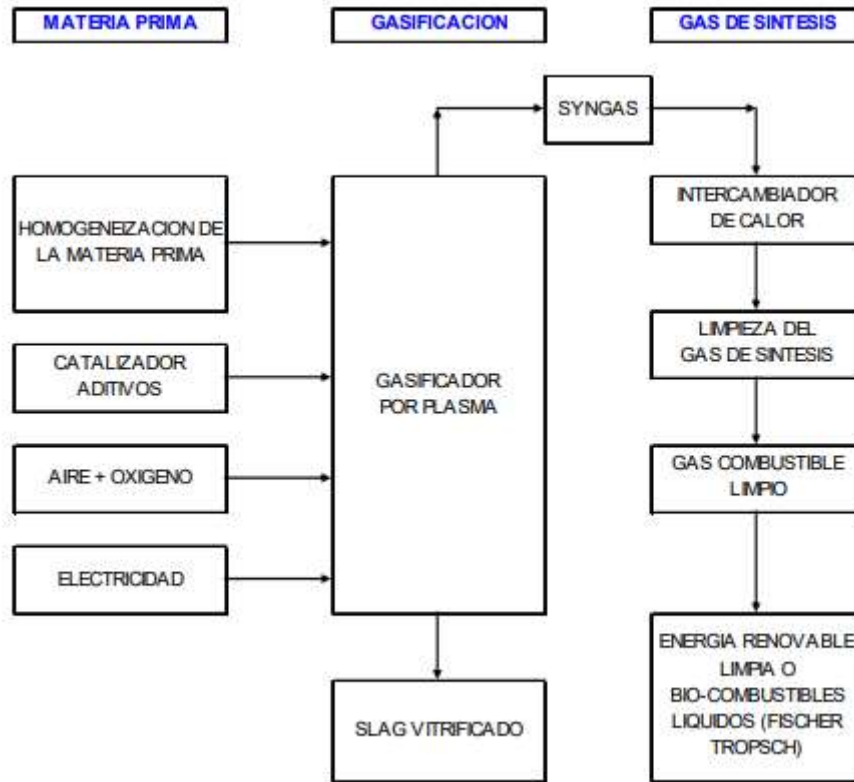


Figura 29: Resumen Etapas Planta Gasificación por Plasma (Fuente: CONAMA)

6.2. RECUPERACIÓN ENERGÉTICA DEL CALOR:

Para dicha recuperación energética, se empleará un ciclo Rankine, con el cual sacar rendimiento al calor de salida.

Para ello, puesto que para el diseño de la planta se utilizará la que ya presenta el fabricante checo S.W.H. Group SE, diseñada y comprobado su éxito en la operativa, únicamente faltaría implementar la función del ciclo para rentabilizar el calor térmico.

Por ende, se toma el dato del fabricante, partiendo de un valor de potencia calorífica de 3.7 MW en una hora.

De la misma forma, puesto que el ciclo concluye con la obtención de energía eléctrica, de acuerdo de nuevo con los parámetros aportados por el fabricante, el dato obtenido será de 2.5 MW por hora [32], dando a un rendimiento:

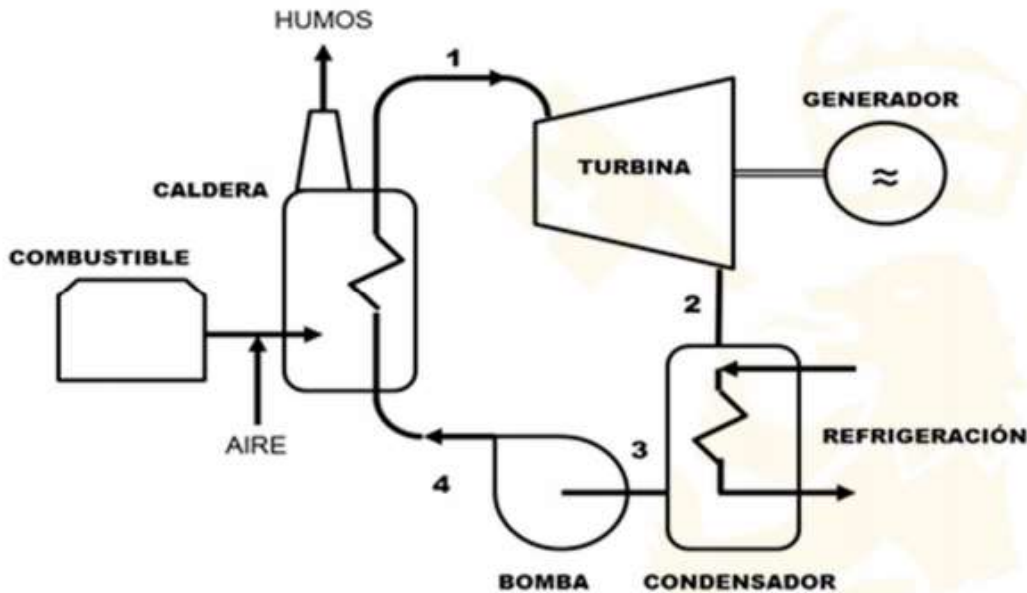


Figura 30: Esquema Ciclo Rankine (Fuente: ICAI)

$$\mu_T = \frac{P_T}{Q_{comb}} = \frac{2.5}{3.7} = 0.676$$

Además, en relación con los datos del fabricante, la planta funciona como máximo durante 8000 horas al año, consumiendo un total de 12000 toneladas de materia orgánica al año (medida más que asumible en relación con los datos obtenidos).

No obstante, puesto que 0.5 MW de los generados en la turbina de gas van directamente al autoconsumo de la propia instalación, queda una energía eléctrica total (en un año) de:

$$P = 2 \text{ MW/h} \cdot 8000 \text{ h} = 16000 \text{ MW}$$

Capítulo 7. PILAS DE COMBUSTIBLE

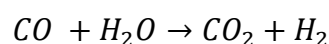
7.1 ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO:

Para saber que cantidades de hidrógeno es necesario almacenar, antes se ha de conocer la composición del gas de síntesis, con el único fin de, en relación con el flujo másico de residuos a operar, la medida exacta de hidrógeno que se obtiene. Por eso, teniendo de referencia la composición química del gas de síntesis en porcentaje que aparece en el Trabajo de Fin de Grado de Almudena Valenciano:

COMPOSICIÓN QUÍMICA SYNGAS	
COMPONENTE	PORCENTAJE (%)
CO	77.6
CO ₂	6.67
H ₂	4.46
N ₂	7.11
H ₂ S	0.00
Ar	1.22
H ₂ O	2.93
CH ₄	0.01

Tabla 13: Tabla Composición Química Gas de Síntesis (Fuente: TFG Almudena Valenciano)

Con ello, si se trata un total de 12000 toneladas al año, se obtiene de hidrógeno, por parte de una reacción química shift que se da al final de la limpieza del gas de síntesis en el proceso que se ha descrito previamente:



Además del gas de síntesis de forma inicial:

- Reacción shift:

$$\dot{m} = MM_{H_2} \cdot \frac{\dot{m}_{CO}}{MM_{CO}} = 2 \cdot \frac{0.776 \cdot 12000}{28.01} = 664.91 \text{ Tn/año}$$

- Obtenido inicialmente de la gasificación por plasma:

$$\dot{m} = \dot{m}_{H_2} = 0.0446 \cdot 12000 = 535.2 \text{ Tn/año}$$

Por consiguiente, el flujo total anual de hidrógeno será de:

$$\dot{m} = 664.91 + 535.2 = 1200.11 \text{ Tn/año}$$

7.1.1 GAS A PRESIÓN:

Es la forma más extendida de almacenamiento de este elemento, además de la más implementada al ser la más antigua. Los tanques de almacenamiento pueden ser de cualquier índole, tanto móviles (como en tanques de camiones); fijos (en un espacio concreto para dar un servicio específico a una instalación determinada); o soterrados (por motivos variados, como la seguridad, etc.).

En los lugares en los que se produce el hidrógeno, para el estudio que se está realizando, a partir del gas de síntesis de las plantas de gasificación por plasma, el fluido es comprimido 202.65 bar en utensilios que serán los que, más adelante, depositen el gas en los tanques de reserva.

Actualmente, ya hay tanques que son capaces de almacenar de manera permanente el hidrógeno a 350 bar, siendo este tipo de depósitos los empleados en proyectos para vehículos cuyo combustible es el hidrógeno. De la misma forma, consecuencia de la evolución que tiene esta tecnología, así como su viabilidad en el futuro, se está trabajando ya con tanques que alcancen los 700 bar.

7.1.2 HIDRÓGENO LÍQUIDO:

No es tan típica la utilización de este tipo de método para el almacenamiento. Sin embargo, tiene gran cabida para transporte y tanques espaciales. El hidrógeno, a la presión de 1.01325 bar, presenta su temperatura de ebullición a -252.76 °C , alcanzando, de forma simultánea, un valor energético de 8.4 megajulios por cada litro de hidrógeno.

Además, se subraya que el hidrógeno, al ser uno de los gases más volátiles del planeta Tierra, presenta temperaturas de condensación de 17 K de media a presión atmosférica. Por ello, este es el gran inconveniente con el que cuenta este tipo de tecnología, pues es necesario refrigeradores muy potentes para llegar a la temperatura necesaria.

7.1.3 HIDRUROS METÁLICOS:

A partir de 1960, se comenzó a operar con metales que, tras su estudio y puesta a punto mediante técnicas científicas, se concretó que al juntarse con hidrógeno daban lugar a una reacción con posibilidad de reversibilidad.

Con este marco de trabajo, se corroboró que la formación y su futura descomposición en gran número de hidruros cumplían con los mínimos de velocidad necesaria para optar por este proceso como vía de almacén de hidrógeno.

Este tipo de tecnología comenzó a implementarse en diversas áreas de la energía, tanto en tanques de tamaño escueto, así como sistemas destinados para el almacenaje a niveles industriales. Asimismo, para que el hidruro sea apto para almacenar hidrógeno en sí mismo, debe cumplir las siguientes garantías:

- Facilidad en la formación y descomposición
- Alta velocidad tanto en las reacciones químicas que se ven desarrolladas, con el fin de cumplir las características mínimas marcadas por la carga.
- La presión a la cual se dará la reacción ha de garantizar los requisitos de seguridad.
- No debe mermar la operativa de las reacciones por debajo de los límites establecidos con los que poder alcanzar rentabilidad.

- Hidruros con alto porcentaje de pureza, ya que es el déficit de esta el vector que guía la posibilidad de disminuir el rendimiento de la reacción [33].

7.2 SELECCIÓN DE LA PILA Y TANQUE ALMACENAMIENTO:

De acuerdo con los tipos de pilas de combustibles que se han presentado se decide, de acuerdo con criterios centrados en el rango de potencia que puede llegar alcanzar, así con la posibilidad de sus aplicaciones con una PEMFC.

Estas destacan por contar con una membrana de polímero sólido como electrolito encargado de facilitar la reacción, pudiendo operar con temperaturas fácilmente alcanzables, al encontrarse colindante al valor de los 70 °C. Asimismo, a la hora de comenzar a ejecutar su misión, cuentan con un arranque rápido, con baja corrosión y escaso mantenimiento. Por último, en vista a estar integradas en una microrred, estas suelen presentar acoplamiento sencillo en zonas residenciales.

Dentro de la alta gama de productos y ofertas que se encuentran por parte de diversos fabricantes, se elige la Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform, diseñada por el fabricante de pilas Hydrogenics, cuyas características y descripción pueden ser encontradas en el Anexo II. Con el fin de poder contar con un seguro en caso de déficit de otro tipo de energías, deberían instalarse 80 unidades, al contar cada una con 1 MW de potencia instalada.



Figura 31: Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform (Fuente: Hydrogenics)

Mediante sus características, se calcula cuál deberá ser el caudal necesario de hidrógeno con el cual se pueda mantener un rendimiento eficiente. Para ello, al contar la pila con un rendimiento medio del 50%, así como con la necesidad de satisfacer un caudal de 750 m³/h:

$$\dot{m} = 750 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 0.0899 \text{ kg}/\text{m}^3 = 67.425 \text{ kg}/\text{h}$$

$$m_{REAL} = \frac{67.425 \text{ kg}/\text{h}}{0.5} = 134.85 \text{ kg}/\text{h}$$

Puesto que, de acuerdo con los procedimientos que se han ejecutado, se contará con la posibilidad de ofrecer un flujo de 1200.11 toneladas al año, es decir, 137 kilogramos de hidrógeno por hora, se satisfacen las condiciones.

En cuanto al tanque de almacenamiento del combustible, se decide emplear el sistema con hidruros metálicos, debido a que este, principalmente, permite un flujo másico constante, seguro y continuado, con el que aportar robustez [34].

Por ello, de acuerdo con lo que se ofrece en el mercado, así como las necesidades reales, se decide utilizar los tanques de almacenamiento de Hbond-7000 H, con capacidad de almacenamiento de 46 kilogramos de hidrógeno, según los datos del fabricante [35].



Figura 32: Tanque de Almacenamiento Hbond – 7000 H (Fuente: LabTech)

Por ende, si se sabe que se necesitarán 80 pilas de combustible y, por lo tanto, necesario satisfacer un flujo de 10788 kg/h:

$$\text{Tanques} = \frac{10788 \text{ kg/h}}{46 \text{ kg}} \cdot 1h \cong 235 \text{ Tanques}$$

Capítulo 8. IMPLANTACIÓN DE LA MICRORRED

8.1 TECNOLOGÍA:

Tras los diversos aspectos que se han ido tratando a lo largo del proyecto, se recapitularán en este apartado las fuentes, tanto de generación gestionable, como no gestionable con las que se cuentan en un radio de 50 kilómetros respecto al núcleo urbano de Jaén.

Para ello, se cuenta dentro del marco de las energías renovables no gestionables la fotovoltaica y la eólica, contando con una potencia instalada de:

GENERACIÓN MICRORRED	
NO GESTIONABLE	
PROCEDENCIA	POTENCIA (MW)
Eólica	15.18
Fotovoltaica	87.87
TOTAL (MW)	103.05

Tabla 14: Tabla Generación No Gestionable Microrred (Fuente: Elaboración Propia)

Mientras que, por parte de las gestionables, se contará con centrales de cogeneración, biomasa e hidráulica (ya existente en el perímetro que rodea a la ciudad de Jaén), incorporando la planta de gasificación por plasma diseñada por S.W.H. Group S.E., con la cual, a través de la recuperación energética del calor por medio de una turbina de gas, se consigue inyectar potencia en la red. Además, esta también será la encargada de extraer el hidrógeno de la materia orgánica que, más adelante, se empleará para generar electricidad en pilas de combustible:

GENERACIÓN MICRORRED	
GESTIONABLE	
PROCEDENCIA	POTENCIA (MW)
Cogeneración	119.81
Biomasa	21.00
Hidráulica	68.71
Gasificación por Plasma	2.00
Pilas de Combustible	80.00
TOTAL (MW)	291.52

Tabla 15: Tabla Generación No Gestionable Microrred (Fuente: Elaboración Propia)

Con los datos aportados, se comprueba que la microrred sí que es capaz de cumplir con creces con el valor de referencia de la demanda eléctrica máxima que se podría dar en la región, teniendo la siguiente distribución en proporción entre potencia gestionable y no gestionable:

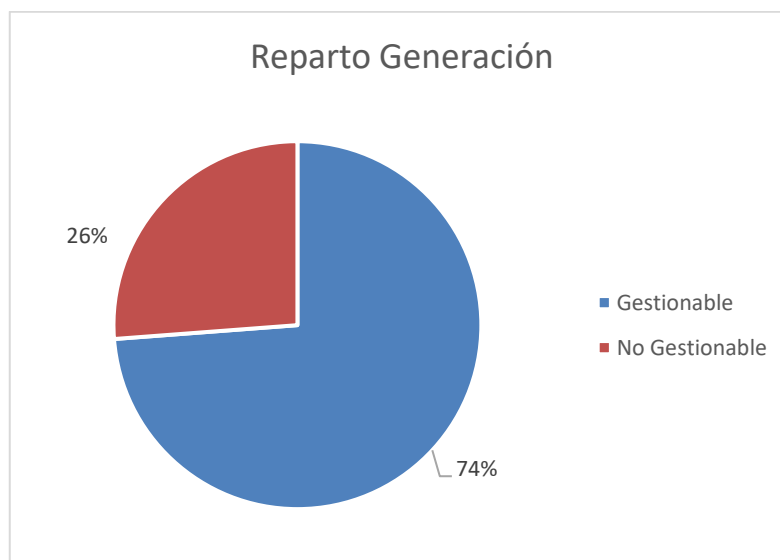


Figura 33: Reparto Generación Eléctrica

En la que cada tecnología, desde un punto de vista más visual, se observa cuánto es su máximo de potencia:

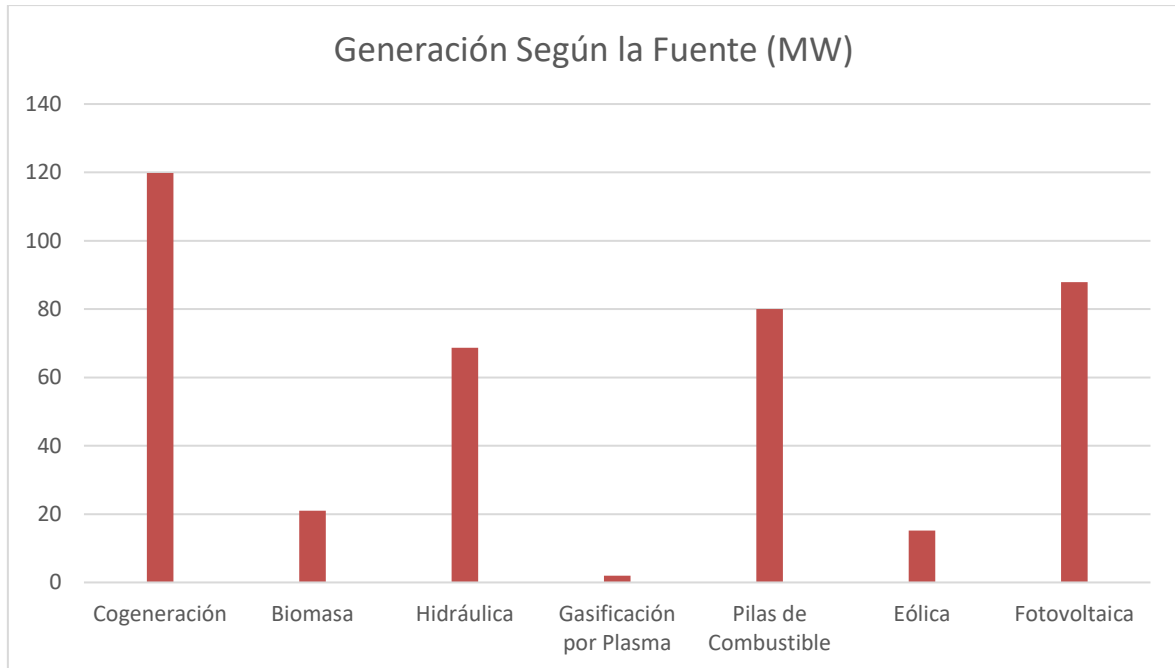


Figura 34: Generación según Fuente

No obstante, con el fin de otorgar robustez a la microrred, así como realizar intercambios de potencia, esta se conectará al tendido eléctrico nacional, en vistas a llegar a ser capaz tanto de exportar excesos de energía, con los que sacar un rédito económico mayor de lo producido; así como recibir potencia en ciclos temporales en los cuales la demanda de la capital jiennense se vea necesitada.

8.2 ESTUDIO ECONÓMICO:

En este apartado, solo se considerará el estudio de la implantación de las nuevas tecnologías, al considerar que, puesto que las otras fuentes energéticas ya existen, habrán sido las empresas que las rigen los encargados de asegurar su viabilidad económica. Esta además se corrobora con que prosiga su funcionamiento, ya que, sin rentabilidad económica, habrían estado abocadas al cierre.

Por ello, se centrará este estudio en comprobar si, desde el punto de vista económico, también se valida la implantación de la microrred en Jaén. Para dicha misión, se analizarán coste de inversión, de explotación y de amortización, además de la capacidad de generación y coste del kWh.

8.2.1 GASIFICACIÓN POR PLASMA:

Se utilizará la tecnología de la compañía checa S.W.H Group SE, cuya instalación incluye la gestión y envío de los residuos a la entrada del horno de plasma; el reactor de gasificación con todos los elementos necesarios para el proceso; sistemas necesarios para optimizar la calidad del gas de síntesis; la generación de electricidad y calor a través de unidades de cogeneración y turbina de vapor; y servicio auxiliar de soporte.

Se asumirá una vida útil de 25 años para toda la instalación, al mismo tiempo que las siguientes hipótesis:

- En gastos de explotación (se consideran constantes con los años), al ser estos los que se definen como los que debe afrontar un negocio, le saque rentabilidad económica o no, se incluirán:
 - Los gastos de alquiler del terreno, que, en base a la información aportada por el portal inmobiliario Idealista, se aplicará el criterio de 0.66 €/m².
 - Se asumirá que, de forma presencial o remota, debe estar un responsable, un jefe de planta con un sueldo medio de 55000 €/año (en base a la información

de Glassdoor), así como 6 técnicos destinado a solventar incidencias, con sueldos medios cada uno de 23000€/año, según Glassdoor.

- No se considerará el gasto de producción del kilovatio por hora, al aprovecharse el calor del proceso de generación de hidrógeno para implementarlo como fuente de calor del ciclo Rankine.
- Para el coste de amortización, se considerará, de acuerdo con los datos aportados en el Trabajo de Fin de Grado de Almudena Valenciano, del 5%.
- Como precio del kilovatio por hora, se tomará el precio medio de venta de la energía, que facilita la organización no gubernamental Facua, la cual lo fija, durante el año 2020 en 0.1214€/kWh.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 25	
Inversión Inicial (Mill €)	9	0	0	0	
Coste de Explotación (Mill €)	0.34	0.34	0.34	0.34	
Coste de Amortización (Mill €)	0.72	0.72	0.72	0.72	
Generación Eléctrica (GW)	16	16	16	16	
Ganancia Venta Energía (Mill €)	1.94	1.94	1.94	1.94	
TOTAL (Mill €)	-8.12	0.88	0.88	0.88	13.00

Tabla 16: Tabla Balance Económico Gasificación por Plasma + Ciclo Rankine (Fuente: Elaboración Propia)

Por consiguiente, se aprecia como, desde el punto de vista de venta de la energía que produce el alternador, a través del ciclo de la turbina de vapor, se obtiene un beneficio de 13 millones de euros a lo largo de la vida útil de la planta.

8.2.2 PILAS DE COMBUSTIBLE:

Se empleará la Fuel Cell Megawatt Power Generation Platform, diseñada por el fabricante de pilas Hydrogenics, tal como se expuso con anterioridad en el apartado correspondiente.

Se asumirá una vida útil de 25 años para toda la instalación, al mismo tiempo que las siguientes hipótesis:

- Se considera que el precio por cada una de las 80 pilas de combustible se encontrará se localizará aproximadamente en los 28000 € [37].
- En gastos de explotación (se consideran constantes con los años), al ser estos los que se definen como los que debe afrontar un negocio, le saque rentabilidad económica o no, se incluirán:
 - Los gastos de alquiler del terreno, que, en base a la información aportada por el portal inmobiliario Idealista, se aplicará el criterio de 0.66 €/m².
 - Se asumirá que, de forma presencial o remota, debe estar un responsable, un jefe de planta con un sueldo medio de 55000 €/año (en base a la información de Glassdoor), así como 2 técnicos destinado a solventar incidencias, con sueldos medios cada uno de 23000€/año, según Glassdoor.
- Se considerará el gasto de producción del kilovatio por hora se localizará en torno al 15% del precio de venta de la energía, cuyo gasto anual irá reflejado dentro de los costes de explotación totales.
- Para el coste de amortización, se considerará, de acuerdo con los datos aportados en el Trabajo de Fin de Grado de Almudena Valenciano, del 5%.

- Como precio del kilovatio por hora, se tomará el precio medio de venta de la energía, que facilita la organización no gubernamental Facua, la cual lo fija, durante el año 2020 en 0.1214€/kWh.

	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 25	
Inversión Inicial (Mill €)	2.24	0	0	0	
Coste de Explotación (Mill €)	12.76	12.76	12.76	12.76	
Coste de Amortización (Mill €)	0.18	0.18	0.18	0.18	
Generación Eléctrica (MW)	80.00	80.00	80.00	80.00	
Ganancia Venta Energía (Mill €)	29.10	29.10	29.10	29.10	
TOTAL (Mill €)	13.92	16.16	16.16	16.16	401.76

Tabla 17: Tabla Balance Económico Pilas de Combustible (Fuente: Elaboración Propia)

Por consiguiente, se aprecia como, desde el punto de vista de venta de la energía eléctrica que se produce a partir del hidrógeno, genera unos beneficios de 401.76 millones de euros a lo largo de su vida útil.

Por lo tanto, se justifica la implantación de estas dos tecnologías, reportando un beneficio neto en los 25 años de 414.76 millones de euros, repartidos, de acuerdo con la tecnología:

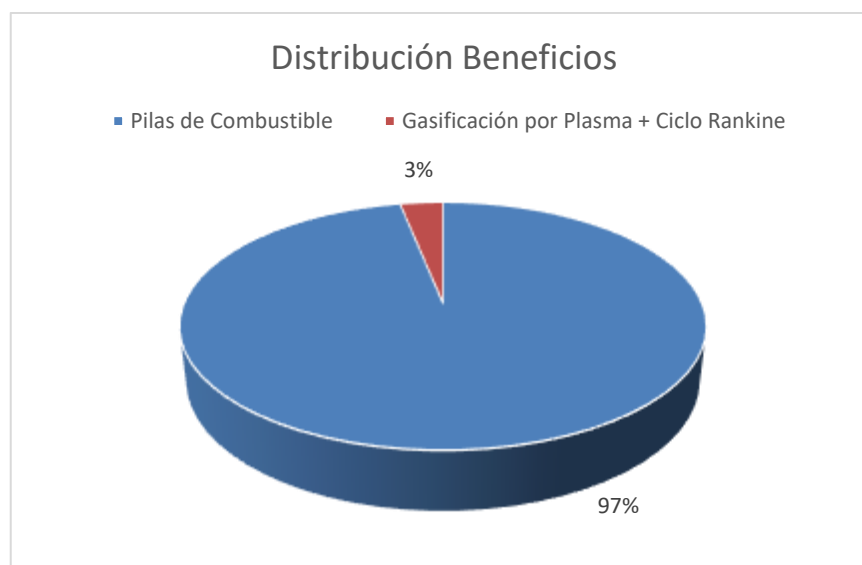


Figura 35: Distribución Beneficios

Capítulo 9. CONCLUSIONES

En base al estudio que se ha ejecutado sobre la implantación de un central de gasificación por plasma en la que, un ciclo Rankine aproveche la energía térmica del mismo para inyectar en la red y la propia central electricidad; así como la instalación de pilas de combustible, se alcanzan conclusiones claras.

En el ámbito tecnológico, sí que es viable la construcción de la planta y la planta de gasificación por plasma y las pilas de combustible, pues, en relación con los resultados obtenidos, se justifica. No solo por ser capaz con creces de dar la demanda máxima requerida, sino también por ayudar a la localidad de Jaén a alcanzar los objetivos marcados en la Agenda Verde hacia la transición ecológica.

Además, al ser una energía más barata de producir, abaratará considerablemente el precio en la tarifa de la luz del contribuyente, logrando que, en periodos donde dicho parámetro ha alcanzado valores históricos (en caros), se vean reducidos.

En este sentido, desde el punto de vista económico, se ha llegado a la conclusión de que sí es una inversión viable, al contar con holgados beneficios que pueden ser empleados de diversas formas por las entidades encargadas de su gestión. Además, no solo la mayor fuente de ingresos, sino que la posibilidad de generar nuevos puestos de trabajo y colocar a Jaén como ciudad líder en renovables, ayudará a generar un gran impacto económico en la región.

Capítulo 10. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Objetivos Y metas de desarrollo sostenible, ONU.
- [2] ODS 11: Ciudades y Comunidades Sostenibles, ONU.
- [3] ODS 12: Producción y Consumo Responsables, ONU.
- [4] ODS 13: Acción por el Clima, ONU.
- [5] MOOC, Energía y Ciudad: Hacia la Transición Energética. *Transcripciones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- [6] *Sistemas de tratamiento*. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [7] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2010). *Guía de valorización energética de residuos*.
- [8] *Pilas de Combustible*. (2019, 7 febrero). Centro Nacional de Hidrógeno.
- [9] MOOC, Energía y Ciudad: Hacia la Transición Energética. *Transcripciones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- [10] MOOC, Energía y Ciudad: Hacia la Transición Energética. *Transcripciones*. Universidad Politécnica de Madrid.
- [11] *Plasma Gasification*. National Energy Technology Laboratory.
- [12] *Plasma Gasification*. National Energy Technology Laboratory.
- [13] Jaén. (2021, 25 junio). Wikipedia, la enciclopedia libre.
- [14] *Cogeneración*. Instituto por la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- [15] *Energía Eólica*. Iberdrola.
- [16] *Qué Es la Energía Hidroeléctrica*. Iberdrola.
- [17] *Qué Es la Energía Fotovoltaica*. Iberdrola.
- [18] Agencia Andaluza de la Energía. (2020, diciembre). Informe de Infraestructuras Energéticas Provincia de Jaén.
- [19] Mudarra, Jesús. (2021, 10 enero). Jaén consume cada vez menos energía eléctrica. Ideal.

- [20] Valenciano López, Almudena. (2015, junio). *Estudio de una Microrred Inteligente en la Ciudad de Huesca*.
- [21] Valorización Energética / Tratamientos Térmicos: Introducción. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [22] Valorización Energética / Tratamientos Térmicos: Depósito en Vertederos. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [23] *COGERSA - Planta de valorización energética (Incineradora)*. COGERSA.
- [24] Valorización Energética / Tratamientos Térmicos: Incineración. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [25] Valorización Energética / Tratamientos Térmicos: Pirólisis. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- [26] *Residuos*. Comunidad de Madrid.
- [27] *Los residuos urbanos y su problemática*. UNED.
- [28] *Residuos agrícolas*. (2018, 11 abril). Ambientum Portal del Medioambiente.
- [29] *Residuos forestales*. (2018, 11 abril). Ambientum Portal del Medioambiente.
- [30] Soria Tonda, Jorge M. *La valorización energética de los Residuos Urbanos y Asimilables*. Junta de Andalucía.
- [31] Greene Waste to Energy.
- [32] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. (2010). *Guía de valorización energética de residuos*.
- [33] *Gasificación por plasma*. S.W.H. GROUP SE.
- [34] Baquero, P. R. P. (2019, 23 julio). *Almacenamiento de Hidrógeno*. ARIEMA.
- [35] *Almacenamiento de hidrógeno*. ARIEMA.
- [36] *Hydrogen Storage Containers on the Base of LaNi₅ - type Metal Hydrides*. LabTech.
- [37] Ramsden, Todd. (2013, abril). *An Evaluation of the Total Cost of Ownership of Fuel Cell Powered Material Handling Equipment*. National Renewable Energy Laboratory.

ANEXO I: PLANTAS GENERACIÓN EN PROVINCIA DE JAÉN:

COGENERACIÓN:

(31/12/2020)

NOMBRE	MUNICIPIO	POTENCIA (MW)
Energética Las Villas (CELVI) (ant. San Miguel Arcangel)	Villanueva del Arzobispo	24,98
Cerámica MALPESA 3	Villanueva de la Reina	0,99
Compañía Energética Linares	Linares	24,99
C.E. Puente del Obispo	Baeza	24,8
Bioener (Biogás y Energía)	Puente de Génave	9,19
BECOSA 2 (MENGIBAR, S.A.)	Mengibar	3,60
Santo Rostro Generación	Bailén	0,92
Andaluza de Cogeneración, SA (ANCOSA)	Bailén	1,84
Cogeneración de Andújar (COANSA / Moltuandujar)	Andújar	19,63
Cerámicas de Alcalá Villalta, SA	Bailén	0,96
Cerámica La Unión	Bailén	0,48
GALEY Cogeneración	Bailén	1,60
Aceites Coosur, SA / Compañía Energética Linares	Vilches	21,00
Smurfitt kappa (Alabe Mengibar)	Mengibar	24,70
Compañía Energética de Jabalquinto (Extractora de Ecología del Olivar) (CEJABAL)	Jabalquinto	15,30
Cover Design (Cog Marmolejo)	Marmolejo	0,50
TOTAL		175,50

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

GENERACIÓN RENOVABLE:

Biomasa generación eléctrica (31/12/2020)

PLANTA	MUNICIPIO	POTENCIA (MW)
Bioenergética de Linares	Linares	15,00
La Loma	Villanueva del Arzobispo	16,00
Aldebarán Energía del Guadalquivir	Andújar	6,00
TOTAL		37,00

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

Eólica conectada a red (31/12/2020)

PARQUE EÓLICO	MUNICIPIO	POTENCIA (MW)
Sierra del Trigo	Noalejo	15,18
TOTAL		15,18

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

Hidroeléctrica (31/12/2020)

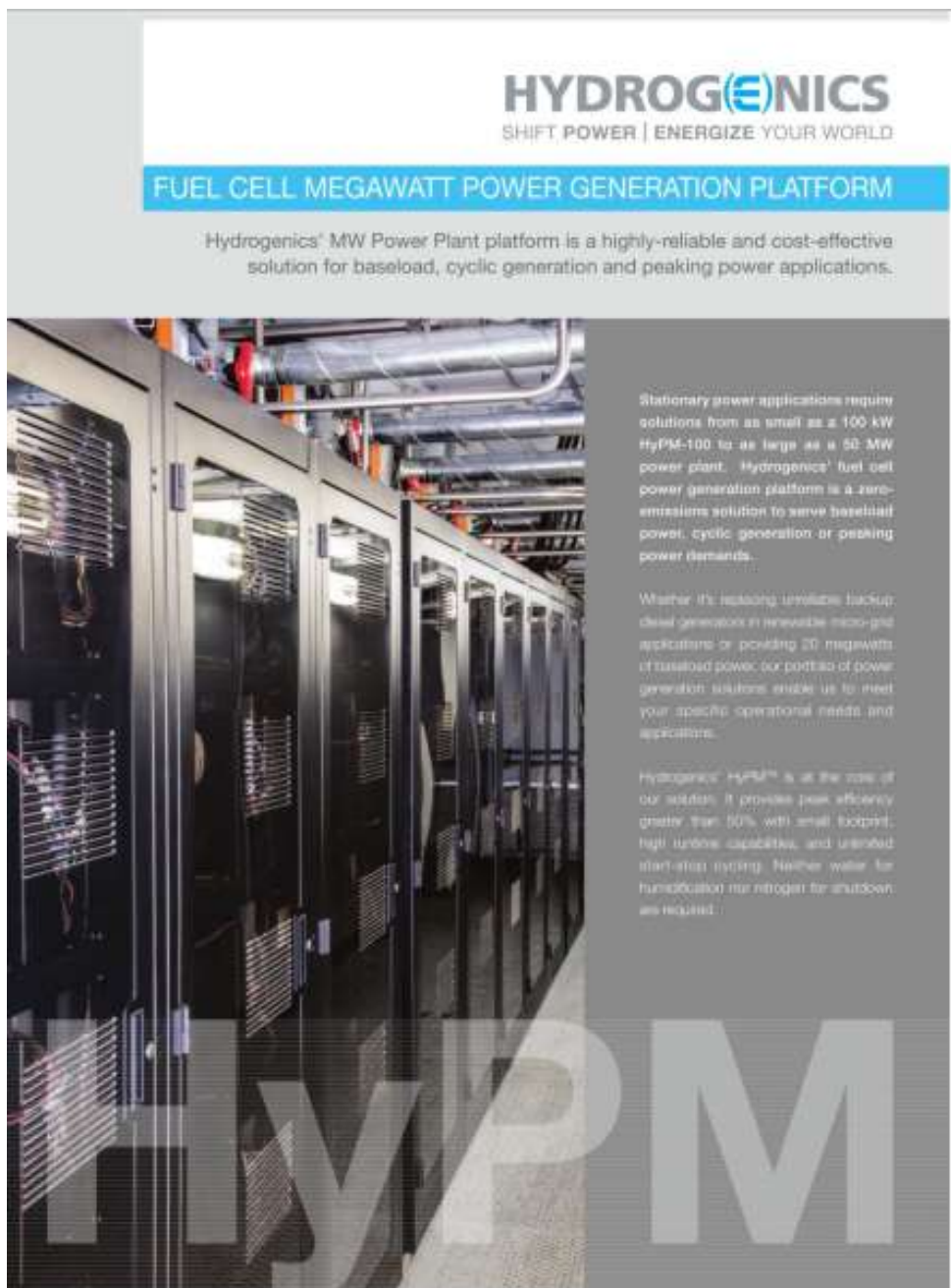
CENTRAL	MUNICIPIO	POTENCIA (MW)
Encinarejo	Andújar	8,32
Jándula	Andújar	15,00
Valtodano	Andújar	3,15
Pedro Marín	Baeza	13,20
El Rumber	Baños de La Encina	2,50
Mata Bejid	Cambil	0,20
La Fernandina	Carboneros	5,00
Puente de la Cerrada	Cazorla	7,52
Guadalmena	Chiclana de Segura	15,20
Salto de San Rafael	Espeluy	3,20
Tranco de Beas	Hornos	39,80
Arquillos	Ibros	1,44
CH Giribaile	Ibros	20,00
Mengibar	Jabalquinto	4,20
Marmolejo	Marmolejo	16,96
Salto del Yeguas	Marmolejo	4,90
Olvera	Navas de San Juan	2,39
Los Órganos	Santiago-Pontones	1,92
Miller	Santiago-Pontones	27,00
Doña Aldonza	Úbeda	10,40
Racioneros	Úbeda	2,24
Guadalén	Vilches	5,12
Salto del Molino de Guadalén	Vilches	2,56
TOTAL		212,22

Fuente: Agencia Andaluza de la Energía

FOTOVOLTAICA AISLADA:

INSTALACIONES	POTENCIA (kW)	NÚMERO	TITULARES
Municipios "Agenda 21"	625	8	7 Ayuntamientos y 1 Grupo de Desarrollo Rural
Red de "Colegios Fotovoltaicos"	88,8	14	Diputación de Jaén
Proyecto Edificio "ACTIVA JAÉN"	85,14	1	Diputación de Jaén
Proyecto "PARSOL"	248,14	1	Geolit Soalr S.L.
Edificio "BIG BANG"	20	1	Geolit Solar S.L.
Residencia Santa Teresa	4,5	1	Diputación de Jaén
TOTAL	1.071,84	26	

ANEXO II: CATÁLOGO PILA DE COMBUSTIBLE:



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 uptime capabilities, and unattended start-stop cycling. Neither water for humidification nor nitrogen for shutdown are required.

HYPM

Type	PEM (Proton Exchange Membrane) Fuel Cell Power Generator ¹	
Performance	Electrical Output Continuous	1 MWe
	Electrical Efficiency	>50% 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 D)	9.6 x 8 x 40 feet (x2)
	Weight	32,000 kg
Fuel	Hydrogen ²	> 99.99%
	Fuel Consumption	750 Nm ³ /h per 1MW ³
	Aux Electrical Input Power	35 kW continuous, 40 kW at start-up
Available Heat	Output Heat Load	< 1.5 MW
	Stack Temperature	Up to 70°C
	Exhaust Gas Temperature	70°C
Emissions	Noise level at 1m	Approx. 75 dB in open air
	Pollutants	Zero emissions (No GHG or local air pollutants)



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

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

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.